TRAFORO

DELLE ALPI

1863

all'Ill.mo Sig.r Cav.r A. Sismonda
omaggio del suo devot.mo
G. Sommeiller

TRAFORO DELLE ALPI

RELAZIONE

TRAFORO DELLE ALPI

TRA

BARDONNÈCHE E MODANE

RELAZIONE

DELLA

DIREZIONE TECNICA

ALLA

DIREZIONE GENERALE DELLE STRADE FERRATE DELLO STATO

TORINO
TIPOGRAFIA CERESOLE E PANIZZA
1863.

INDICE.

I.

Cenni preliminari.

Il traforo delle alpi fra Bardonnèche e Modane fu intrapreso in esecuzione della legge 15 agosto 1857, la quale fece seguito alla relazione della Commissione nominata dal Governo allo scopo di esaminare il progetto di perforamento presentato dalli ingegneri Grandis, Grattoni, Ranco e Sommeiller, e di riferire specialmente sul sistema meccanico proposto per l'esecuzione dell'opera.

Tale Commissione era composta dei signori:

DES-AMBROIS, PRESIDENTE,
GIULIO, RELATORE,
L. F. MENABREA,
D. RUVA,
Q. SELLA,

e gli esperimenti sul sistema proposto ebbero luogo in un sito detto la *Coscia* presso S. Pier d'Arena nell'aprile 1857.

Nella relazione della Commissione sotto la data 5 maggio 1857 contengonsi:

1.° Un compendio storico-critico della questione del perforamento delle alpi, degli studi fatti anteriormente, dei progetti e proposte messi in campo da diversi ingegneri per la soluzione del difficile problema.

2.° Una descrizione completa del compressore idraulico, e delle macchine perforatrici.

3.° Lo specchio d'una serie d'esperimenti diretti a risolvere i dubbi, che nella mente di molti sorgevano col carattere di difficoltà invincibili, rispetto principalmente alla pratica soluzione del problema della condotta dell'aria compressa, e della applicazione di questa come forza motrice a grande distanza, senza notevole perdita di tensione, e rispetto all'altro non meno importante problema della ventilazione in una così lunga galleria a foro cieco.

4.° Finalmente le conclusioni nelle quali la Commissione, fondandosi sulle prove fatte, consigliava di tosto por mano all'opera applicandosi il sistema proposto, ed esperimentato ne' suoi fondamentali, ed essenziali elementi, fiduciosa che l'esperienza pratica avrebbe ben presto insegnato quali fossero le modificazioni, e le migliorìe da introdursi nei particolari d'importanza secondaria.

Il parere della Commissione fu bene accetto, e diviso dal Governo, e dalle Camere, e con la legge su riferita si diede base e principio alla esecuzione dell'opera. Un regolamento organico dato il 29 agosto stesso anno stabiliva le basi, secondo le quali l'impresa doveva essere governata, e ne affidava la direzione tecnica agli ingegneri Grandis, Grattoni e Sommeiller.

Nel tempo stesso si stabilì un ispettorato economico per invigilare alla contabilità, ed esercitare quel controllo che si conviene a tutela degli interessi dello Stato, lasciando così agli ingegneri tutta la necessaria libertà di mente nello studio delle questioni d'arte, alle quali ogni loro pensiero unicamente doveva essere rivolto. E finalmente fra gli obblighi dell'Amministrazione vi era quello di presentare ogni anno al Parlamento una relazione sullo andamento dei lavori. Ora la natura stessa dell'opera indicava chiaramente quale fosse lo spirito dell' articolo di legge, che imponeva tale obbligo, riguardo precipuamente alla parte che ne incumbeva alla Direzione tecnica. Questa infatti non poteva riferire utilmente per l'Amministrazione, nè in modo da giovare all'opera, ed all'arte prima che il sistema di perforazione non fosse posto in attività ai due imbocchi della galleria, ed avesse fatte tali prove da fondarvi sovra previsioni certe rispetto all' avvenire dell'impresa, e avesse dato tali risultati pratici, dai quali l'Amministrazione

potesse trarre argomento per modificare, o mantener fermo il sistema economico col quale l'intrapresa è condotta.

Con questa attivazione cominciava veramente il compito della Direzione tecnica nella parte essenziale che le spetta; ed essa attendeva appunto questa occasione per sottoporre all'Amministrazione un sunto particolareggiato del suo operato.

Riguardo alle opere preparatorie, eseguite negli anni 1858-59-60 e 61, evidentemente non era per esse che era imposto l' obbligo di riferire; d'altronde poco o nulla la Direzione tecnica avrebbe avuto da aggiungere alle parziali relazioni con le quali i progetti di ciascuna di esse venivano accompagnati, sia che fossero date in appalto, sia che fossero eseguite in via economica, cosa questa, che non avvenne se non per lavori di poca entità, e della massima urgenza. Però, essendo questa la prima volta che la Direzione tecnica presenta una relazione generale sul perforamento delle alpi, essa non deve entrare di sbalzo, ed unicamente a scrivere del sistema meccanico ora in attività a Bardonnèche ed a Modane, ma deve riassumere, non fosse che di volo, quanto si fece in opere preparatorie nel tempo decorso fra la promulgazione della legge, e l'attivazione del sistema meccanico a Modane, avvenuta il 25 gennaio scorso. Conciossiachè da questa rivista retrospettiva abbia da risultare, che miglior uso del tempo non si sarebbe potuto fare, nè maggiore energia spiegare per parte di tutto il personale addetto ai lavori.

II.

Condizioni di località.

Prima di entrare in ulteriori particolari non sarà fuor di proposito il richiamare alla memoria quali fossero i luoghi in cui si dovevano impiantare i due principali centri dei lavori, perchè le difficoltà incontrate nei primordi dell'impresa male sarebbero giudicate da chi non ha visto Bardonnèche e Fourneaux prima della trasformazione che subirono in conseguenza dei lavori del traforo.

Bardonnèche è un alpestre villaggio situato a più di 1300 metri al di sopra del livello del mare, ed era nel 1857 popolato da circa 1000 abitanti, i quali ancora, dediti come sono alla pastorizia, in gran numero nella state si recano a lontani pascoli alpestri.

La popolazione tutta, all'infuori degli emigranti nel mezzodì della Francia, e specialmente a Marsiglia, vive del prodotto delle terre, del bestiame e dell'allevamento dei muli.

Le abitazioni coordinate alle invecchiate abitudini di quei alpigiani, ed ai loro ristrettissimi bisogni, il costume di svernare nelle stalle, il modo di vivere così differente da quanto si vede nelle campagne della pianura, anche le più povere, tolse fin dal principio la speranza di poter radunare a Bardonnèche quel numero di lavoratori ed impiegati, che sarebbe stato

necessario per dare ai primi lavori un più energico impulso. Non solo difettavano i mezzi più essenziali pel vitto e per l' alloggio, ma le stesse vie di comunicazione male corrispondevano ai bisogni dell'impresa.

Una delle prime cure della Direzione tecnica fu quella di provvedere d' urgenza al loro riattamento, e di spingere nel tempo stesso l' interesse privato a stabilire in quei luoghi quelle primordiali industrie, senza le quali sarebbe stato sproporzionatamente costoso, per non dire impossibile, il concentrare colà i numerosi operai di cui si abbisognava. E in mezzo a così fatte circostanze per due anni e più, operai, impiegati ed ingegneri ebbero a soffrire disagi d'ogni specie, difficilmente immaginabili da chi non visse in quelle alture durante la stagione invernale.

Nè dal lato di Fourneaux le cose presentavano più mite aspetto; Fourneaux è un comune appena di 400 abitanti, privo assolutamente d'ogni mezzo, comunque piccolo si voglia, per sopperire ai bisogni d'un aumento di popolazione; non v'erano per l'alloggio che piazze da letto nelle stalle, e non vi aveva una sola bottega dove l'operaio potesse procacciarsi un oncia di qualsiasi specie di grascia. Gl'impiegati e gli operai presero stanza a Modane, borgata di qualche importanza, ma distante due chilometri e mezzo da Fourneaux, vero sito dei lavori; e per tre anni essi ebbero a percorrere quella distanza, chi due, chi quattro volte al giorno, a piedi, ed esposti a tutte le intemperie d'un clima infelicissimo.

Tali erano le condizioni, nelle quali si doveva dar principio ai lavori esterni e preparatorii, lavori quasi per interi muratorii, che venivano ancora ritardati dalla speciale circostanza, che per essi in quel clima appena si possono contare - nell' anno sei mesi di tempo utile, dai quali debbono ancora dedursi i molti giorni di cattivo tempo.

III.

Lavori preparatorii.

Quando fu promulgata la legge non si aveva in pronto che il progetto generale di massima delle opere, presentato dai proponenti, ed i modelli di macchine con le quali la Commissione governativa aveva eseguito i suoi esperimenti. Tutte le idee fondamentali erano state sviluppate in quello, e materialmente dimostrate col mezzo di questi; ma prima di por mano alla esecuzione, la Direzione tecnica dovette scomporre la questione generale e complessa nei suoi ben determinati elementi, intraprendere li studi necessari a formare, per ciascuno di essi, progetti definitivi, completi, calcolati ed esecutivi. Fra i lavori esterni alcuni poterono essere avviati sin dall'anno 1857, altri invece, che dipendevano dai progetti non ancora studiati dei meccanismi, dovettero rimanere in sospeso finchè i piani regolari delle macchine non fossero condotti a termine; ad un lavoro per altro si potè dar principio subito dopo promulgata la legge, ed era quello a cui vanno subordinati tutti gli altri, vogliam dire l'escavazione della galleria. Gli studi fatti anteriormente sotto la Direzione dell'ingegnere-capo Maus, ed eseguiti dal signor Rombaux, suo collaboratore, ingegnere distinto per dottrina e per abilità pratica, ci furono di guida per la determinazione da fronte e da tergo del monte Frejus dei due punti d'attacco; fissati quei

due punti, e conosciuta con sufficiente approssimazione la direzione dell'asse della galleria, s'incominciò l'escavazione ai due imbocchi coi mezzi ordinari, e si prosegui sino a quando ad essi si potè surrogare il sistema meccanico. Ma di quanto si fece nella scavazione coi mezzi ordinari si dirà più oltre, ed a suo luogo; ora si continuerà a dire dei lavori preparatorii.

§ 1.°

Tracciamenti.

Il tracciamento dell' asse della galleria era d'una importanza massima, e doveva senza indugio essere intrapreso e condotto a tal punto, da permettere di por tosto mano ai lavori di scavo dai due imbocchi. E fin dall'autunno del 1857 le operazioni furono portate a segno, che la scavazione potè incominciarsi con tutte le garanzie necessarie da non dover introdurre in seguito cambiamenti di sorta nel tracciato.

Il problema era: 1.° di individuare sul dorso della montagna tanti punti pei quali passa il piano verticale contenente l' asse della galleria; 2.° determinare la lunghezza tra i due imbocchi; 3.° conoscere la precisa differenza di livello fra i punti estremi della galleria, onde, relativamente alla distanza, raccordare convenientemente le pendenze da assegnarsi al traforo.

Queste operazioni furono dapprima affidate agli ingegneri Borelli e Copello, che le dovevano compiere sotto la direzione dell'ingegnere Grandis, e tutte le particolarità delle medesime si trovano consegnate in una relazione, scritta, dietro invito della Direzione tecnica, dall' ingegnere Copello, che fu quegli che ebbe in tale lavoro la più gran parte. Ed affine di meglio ragguagliare l' Amministrazione dei fatti interessanti di questa delicata e difficile operazione si è creduto conveniente di annettere in esteso la pregevole relazione del predetto ingegnere.

CENNI sulle operazioni geodetiche eseguite negli anni 1857 e 1858
per il tracciamento della galleria e la misura della sua lunghezza.

» Determinata che fu dai signori direttori tecnici la posizione, e la
» direzione dell'allineamento rettilineo della gran galleria fra i due suoi
» imbocchi, coll' assegnare la località nella quale questi due imbocchi
» doveano essere eseguiti, si dava principio nella seconda metà di agosto
» dell'anno 1857 alle operazioni di tracciamento, le quali erano state dalla
» Direzione tecnica affidate all'ingegnere Borelli ed al sottoscritto, sotto la
» direzione del con-direttore signor cav. Grandis.

Sunto cronologico delle operazioni eseguite.

» L'operazione preliminare, cui si dovette di necessità aver ricorso, si
» fu quella di condurre dal punto stabilito per l'imbocco a Fourneaux una
» prima linea verso Bardonnèche, la quale servisse di prova e di norma
» per giungere alla linea definitiva. Questa linea, che venne tracciata con
» quella maggiore celerità, che le condizioni locali permettevano, e con
» quel solo grado di esattezza, che si richiede per una linea di massima,
» venne ad intersecare la vallata di Rochemolles in un punto di gran lunga
» superiore a quello preventivamente fissato per l'imbocco sud. Colla
» scorta di questa prima linea di massima, e ripartendo nuovamente dal-
» l'imbocco nord, si potè in allora condurne una seconda, la quale venne
» a riuscire dal lato di Bardonnèche ad un punto assai vicino a quello a
» cui miravasi. Allora si fu che, correggendo questa seconda linea, si potè
» condurre un terzo allineamento, il quale appieno soddisfece alle condi-
» zioni proposte, passando per ambi i punti che doveano costituire le due
» estremità della galleria nelle due opposte vallate dell'Arc e di Roche-
» molles.

» Le anzi dette operazioni preliminari, comecchè eseguite con quella
» maggiore celerità che fu possibile, e per quanto il tempo si mantenesse
» constantemente propizio alle stesse, non poterono tuttavia esser ultimate
» che sui primi di settembre, stante la necessità di continui andirivieni

» dall' uno all' altro dei due opposti versanti, e la difficoltà dei luoghi
» alpestri in cui dovevasi operare.

» Determinato così, in modo approssimativo, il tracciato della galleria,
» restavano a farsi le operazioni esatte per fissarlo in modo definitivo,
» per stabilire invariabilmente i segnali ed i capi-saldi ai quali dovea
» essere raccomandato, per fissare il punto preciso ove doveano esser
» costrutti gli osservatorii ai due imbocchi, non che quello sul punto
» culminante della montagna, del quale l'esperienza di pochi giorni avea
» bastato a dimostrare l'assoluta necessità. E ciò è quanto venne in gran
» parte condotto a termine nel corso del mese di settembre, mentre si
» profittava delle frequenti traversate da un imbocco all'altro, e dei giorni
» d'inazione forzata per fare delle escursioni sulle più alte vette della
» catena principale, e delle montagne adiacenti, allo scopo di riconoscere
» i punti trigonometrici dello Stato-maggiore, e determinare quegli altri,
» che più convenientemente avrebbero potuto servire per vertici della trian-
» golazione futura.

» Sui primi del mese di ottobre i più importanti capi-saldi sul versante
» nord, e tutti quelli del versante sud erano già fissati in modo preciso
» ed invariabile, in seguito a varie e ripetute osservazioni, ed era pur
» già determinato il punto corrispondente all'osservatorio dell'imbocco
» sud. Null'altro più restava, che a stabilire il punto che dovea in appresso
» servire per l'osservatorio nord, ed a fissare in modo definitivo alcuni
» capi-saldi secondarii sul versante settentrionale della montagna. In quel
» tempo l'ingegnere Borelli essendo stato chiamato alla direzione locale
» degli incominciati lavori a Bardonnèche, incombette al solo riferente di
» condur a termine le poche operazioni ancor rimanenti, relative al trac-
» ciamento dell'asse della galleria. Ritardate dalla caduta delle prime nevi,
» non poterono queste venir ultimate che nella seconda metà del mese
» di ottobre; finchè ai 20 dello stesso mese, nella traversata da Modane
» a Bardonnèche, per la gran quantità di neve caduta, e per l'infuriare
» del vento nel passaggio del colle di Frejus, si ebbero ad incontrare sì
» gravi difficoltà, che fu giuocoforza rinunziare in quell'anno ad ogni qual-
» siasi ulteriore operazione.

» Ad ogni modo lo scopo principale, che la Direzione tecnica si era

» prefisso, poteasi dire completamente ottenuto, giacchè in poco più di
» due mesi il tracciamento dell'asse della galleria era ultimato e fisso in-
» variabilmente, per modo che in quello stesso autunno a ciascuno dei
» due imbocchi poteasi dar mano alla costruzione di parte degli edifici
» preparatorii, ed allo scavo della galleria coi mezzi ordinari. La totale lun-
» ghezza di quest'ultima, il cui accertamento doveasi forzatamente rimet-
» tere nell'anno venturo, veniva intanto provvisoriamente desunta dalla
» carta dello Stato-maggiore, ed era in allora un dato sufficiente onde poter
» intraprendere e continuare i lavori, in attesa della misura definitiva.

» Nello stesso tempo che da una parte si dava opera ad un tale trac-
» ciamento, l'ingegnere Mondino, per incarico della Direzione tecnica, pro-
» cedeva d'altra parte alla livellazione diretta fra i due imbocchi, attra-
» versando la montagna al colle di Frejus, punto di passaggio che meno
» si discosta dal tracciato, e stabiliva lungo la via percorsa frequenti
» capi-saldi altimetrici, atti a favorire il controllo dell'operazione. I risul-
» tati di questa livellazione ripetuta in due diverse volte, quantunque non
» venissero ancora ritenuti per definitivi, erano però tali a fornire dati
» sufficienti per poter intraprendere da ambe le parti lo scavo della gal-
» leria, avvegnachè si sarebbe sempre potuto apportare, senza inconveniente
» veruno, nella distribuzione delle livellette, quelle leggere modificazioni
» che si sarebbero ravvisate necessarie in seguito all' accertamento della
» precisa distanza e differenza di livello fra i due imbocchi.

» Al rinnovarsi della propizia stagione, verso la metà del mese di luglio
» del successivo anno 1858, si dava principio alle operazioni trigonome-
» triche che ancora rimanevano ad eseguire, affine di determinare la esatta
» lunghezza della galleria. Queste operazioni erano precedute da una ri-
» cognizione generale dei vari punti, mediante la quale venne fissata la
» scelta di quelli atti a formare la più conveniente rete di triangoli, e di
» quel lato dei triangoli dello Stato-maggiore, che potea più acconcia-
» mente servir di base alla rete medesima. Questo lavoro, nel quale s'im-
» piegò tutta la seconda metà del mese di luglio, venne dal riferente
» eseguito in compagnia e sotto la direzione del con-direttore sig. cav. Grandis.

» Determinata così la rete dei triangoli, che doveano essere osservati,
» e quel lato di uno dei triangoli dello Stato-maggiore, cui la stessa dovea

» esser legata, si procedette senz'altro alla misura degli angoli della rete,
» cominciando dai vertici più elevati, e discendendo successivamente ai
» punti più bassi, dapprima dalla parte di Bardonnèche, ed in seguito da
» quella di Modane. L'operazione complessiva, che comprende 21 stazioni,
» ed abbraccia un numero totale di 86 angoli osservati, ciascuno dei
» quali fu ripetuto 10 volte almeno, non potè essere ultimata che sui
» primi di ottobre, ed occupò così un periodo di ben due mesi. Nello
» stesso tempo però si poteano determinare con sufficiente esattezza tutti
» i punti singolari del profilo sull' asse della galleria, le cui distanze
» rispettive furono desunte sia da misure dirette, sia dalla risoluzione di
» triangoli minori legati colla rete principale, e le cui altezze vennero
» dedotte per livellazioni dirette legate ai capi-saldi altimetrici disseminati
» lungo il sentiere del colle di Frejus.

» Parimenti nel tempo istesso, che si procedeva alla misura della rete
» trigonometrica, si avea agio di provvedere ancora al consolidamento di
» alcuni capi-saldi del tracciato, e specialmente all'ultimazione del piccolo
» osservatorio sul punto culminante della montagna. Messo così lo stru-
» mento e l'operatore al riparo dei venti, si potè da quell'osservatorio
» verificare ripetutamente, e colla maggiore esattezza possibile, il tracciato,
» ciò che venne fatto non solo dal riferente, ma pur anco dagli ingegneri
» Borelli e Mella.

» Finalmente in quell'istessa campagna l'ingegnere Mondino rifaceva la
» livellazione diretta fra i due imbocchi, per la quale la loro differenza
» di livello veniva in modo più esatto accertata.

» Alla fine pertanto della campagna 1858 tutte le operazioni geodetiche
» relative al tracciamento ed alla misura della galleria erano ultimate, e
» si aveano in pronto tutti gli elementi per compilarne esattamente il
» profilo.

» Dopo avere così esposto nell'ordine cronologico in cui vennero ese-
» guite le diverse operazioni geodetiche per il tracciamento della galleria,
» e per la misura della sua lunghezza, gioverà ora brevemente accennare
» sotto il punto di vista tecnico alle condizioni locali, ed al modo in cui
» vennero eseguite, onde dar ragione di quel grado più che sufficiente di
» approssimazione, su cui si crede di poter con tutta sicurezza contare.

Tracciamento della linea.

» Un semplice sguardo gettato sul piano e sul profilo generale (tav. I)
» basta ad indicare quale sia l'andamento generale del terreno secondo
» l'asse della galleria, e, mettendo in chiaro i punti singolari del profilo,
» a render naturalmente ragione del tracciamento eseguito.

» La sommità del Grand-Vallon, punto culminante della catena interse-
» cata dall'allineamento della galleria, si eleva a poco meno di tre mila
» metri sul livello del mare, e trovasi ad una distanza pressochè uguale
» dai due imbocchi. Da questa, volgendo lo sguardo ai due versanti della
» montagna, che si stendono alle opposte parti, si osserva nei medesimi
» una ben diversa configurazione. Dalla parte di Bardonnèche il versante
» meridionale nel senso della linea nulla offre di rimarchevole che due
» soli punti singolari, dei quali l'uno rientrante, ed è l'incontro del tor-
» rente di Merdovine, l'altro sagliente, ed è la sommità di Bauda. Questa
» sovrasta alla vallata di Rochemolles, e, piegandosi in curva con sempre
» crescente altezza, va a raggiungere la catena principale, formando così
» quell'ampia insenatura, che separa la vallata di Merdovine da quella di
» Rochemolles.

» L'allineamento della galleria prolungato attraverso il torrente di Ro-
» chemolles, ed al di là del medesimo, taglia in isbieco i declivii della
» montagna di Millaures, dove venne stabilito l'estremo punto del tracciato,
» determinandolo in tal guisa, che la visuale dal medesimo condotta al
» punto culminante del Grand-Vallon lambisca il segnale intermedio di
» Bauda.

» Riportando gli sguardi sul versante settentrionale, si scorge invece
» un contrafforte della montagna distaccarsi dalla catena principale presso
» all'osservatorio del Grand-Vallon, e proseguire con decrescente altezza nella
» direzione quasi della linea tracciata, la quale viene così a tagliarlo in
» tre punti diversi, che costituiscono altrettanti punti saglienti del profilo,
» e che furono individuati coi segnali *Vallonet*, la *Rionda*, e *Lachalle*, dal
» nome delle alture in cui sono stabiliti. Da *Lachalle* in poi il contrafforte
» cessa, e viene a confondere le sue pendici nel declivio generale della
» montagna, e di là fino al fondo della vallata dell'Arc non si presenta
» più che un sol punto rimarchevole, l'incontro della linea col torrente
» del Grand-Vallon. Continuando ancora a seguire sul piano e sul profilo

» l'andamento della linea prolungata attraverso la valle dell'Arc, e sul ver-
» sante meridionale della medesima, dove è stabilito l'osservatorio dell'im-
» bocco nord, ed un altro segnale secondario denominato la *Pietra Bianca*,
» si riconosce esser necessario elevarsi ad una notevole altezza di oltre
» due mila metri sul livello del mare, per poter iscoprire l'osservatorio
» del Grand-Vallon, che trovasi mascherato e reso invisibile dai punti più
» bassi, dalla punta del *Vallonet* (primo incontro della linea col contraf-
» forte di cui si è detto poc'anzi), come quella che ne dista di poco più
» di 500 metri, e la cui altezza è di poco inferiore a quella del punto
» culminante. Il punto estremo del tracciato verso settentrione dovette
» quindi di necessità essere fissato ad una tale altezza, perchè fosse visibile
» dal punto culminante.

» Da quanto precede emerge chiaramente il modo con cui il traccia-
» mento della linea venne eseguito. Determinata, come più sopra si disse,
» la linea di massima, che soddisfaceva alle condizioni proposte, passando
» per ambi i punti, che doveano costituire i due imbocchi della galleria,
» null'altro si fece che fissare in modo stabile due punti di quella linea,
» quello cioè in cui la stessa intersecava il culmine della montagna, e che
» divenne l'osservatorio del Grand-Vallon, ed un estremo punto verso il
» nord sul versante meridionale della valle dell'Arc, il quale, come si
» disse, perchè potesse essere scorto dal Grand-Vallon, dovette essere col-
» locato ad una notevole altezza, ed in sito assai malagevole. Fissati così
» questi due punti, e stando l'osservatore al Grand-Vallon, si potè sull'al-
» lineamento di essi determinare un terzo punto, che fu l'estremo verso
» il sud, e che venne, come si disse, collocato sul pendio della montagna
» di Millaures in località vicina all'imbocco, e di facile accesso.

» In questa operazione sta tutto il tracciamento della galleria. Essa
» venne eseguita, ripetuta, verificata soventi volte, e, come già è stato
» indicato, da osservatori diversi, e può essere ancora, ogni qualvolta si
» voglia, nuovamente riprovata. Lo stromento, che servì a tale uopo,
» è il grande teodolito dell'Amministrazione delle strade ferrate, stro-
» mento quant'altri mai adatto per simili operazioni, per le quali era
» stato in altra epoca appositamente costrutto. Dall'osservatorio del Grand-
» Vallon al punto estremo più lontano, che è quello verso il nord, la

» distanza è di poco più di novemila metri, ed a questa distanza la portata dello stromento permetteva di distinguere perfettamente il segnale senza incertezza ed esitazione veruna. D'altra parte sarebbe riuscito impossibile operare in modo diverso e diretto il tracciamento della linea non potendosi determinare i punti estremi in modo a renderli visibili l'uno dall' altro, a meno di stabilirli nel punto culminante delle catene, che separano la valle dell'Arc da quella dell'Isère, e la valle di Bardonnèche da quella di Cesanne; nel qual caso la distanza fra i due punti, che non sarebbe certo minore di 25 chilometri, renderebbe impossibile qualunque esatta osservazione. Del resto, qualora anche voglia supporsi, che un errore inseparabile dalla natura degli stromenti, e dei mezzi adoperati, sia stato commesso nell'operazione anzidetta, e si voglia assegnare all'angolo di deviazione, che può essere accaduta nel far girare dal nord al sud di 180° lo strumento, il massimo valore possibile, è certo che un tale angolo non potrebbe in ogni caso essere maggiore di 10 secondi, qual è quello che è dato dalla prima lettura del nonnio del teodolito.

» In questo caso invece di una linea retta si avrebbe una spezzata, col vertice all'osservatorio del Grand-Vallon, il cui angolo acuto sarebbe di 10 secondi. Supponendo, ciò che di poco si scosta dal vero, che il detto osservatorio segni la metà della lunghezza della galleria, il supposto errore ci darebbe una deviazione massima di 29 centimetri all'uno o all'altro dei due imbocchi. Onde si scorge, che quand'anche nell'operazione di tracciamento si fosse commesso quel massimo errore, che possa sfuggire all'osservazione, questo non potrebbe avere veruna influenza sull'esito definitivo della grandiosa intrapresa.

» Stabilita così la linea per mezzo dei tre punti cardinali anzidetti, riusciva di facile esecuzione la determinazione degli altri punti, e dei due osservatorii agl' imbocchi.

» Dalla parte di Bardonnèche il punto di Bauda venne fissato dall'osservatorio del Grand-Vallon, traguardando al segnale estremo verso il sud; trasportando quindi lo stromento al punto di Bauda, e traguardando sempre allo stesso segnale, venne segnato il punto dell'osservatorio sud.

» Dalla parte di Modane la stessa operazione si dovette ripetere un

» maggior numero di volte, giacchè si dovette dapprima, dal punto cul-
» minante traguardando al segnale estremo verso nord, segnare il punto
» del *Vallonet*, quindi trasportare lo stromento in quest'ultimo punto, e,
» traguardando sempre al segnale estremo, fissare il segnale la *Rionda*.
» Riportando lo stromento a quest'ultimo segnale, e dirigendo sempre la
» visuale al punto estremo, del tracciato, si segnava il punto *Lachalle;* e
» da questo finalmente, traguardando sempre allo stesso segnale estremo,
» si determinava il punto dell'osservatorio nord. Queste successive dedu-
» zioni di un punto dal precedente erano comandate dalla natura del ter-
» reno, per cui questi tre diversi segnali si coprivano successivamente l'un
» l'altro, ma ciò malgrado non rimarrà alcun dubbio sulla esattezza delle
» osservazioni, quando si rifletta che il punto di mira era ad una gran-
» dissima distanza, mentre per contro il punto, che doveasi stabilire, era
» assai vicino all'osservatore, e potea essere fissato con tutta precisione.
» Il segnale di Lachalle, che è il punto il più lontano visibile dall'osser-
» vatorio nord, e per conseguenza quello sul quale si dirige la visuale
» per il tracciamento nell'interno della galleria, può quindi tenersi fissato
» con tutta la voluta precisione. È però da notarsi, che anche un leggero
» spostamento di quel punto sarebbe in definitiva senza influenza sull'an-
» damento della perforazione, giacchè, attesa la distanza di quel punto
» dall'osservatorio, uno spostamento anche di 0, 20 in quel segnale ne
» determinerebbe appena uno di 0, 40 sulla metà della galleria.

» Altrettanto non può dirsi per il segnale di Bauda, che è il solo punto
» visibile dall'osservatorio sud, come quello che dista di appena 800
» metri dall'osservatorio medesimo, ma in suo favore milita la maggiore
» precisione colla quale potè essere determinato. Il segnale estremo del
» tracciato verso sud era stato, come si disse, collocato in guisa, che la
» visuale al medesimo, condotta dall'osservatorio del Grand-Vallon, lam-
» bisse la cresta di Bauda, epperciò il punto sulla medesima stabilito
» potè esserlo con tanta maggior precisione, in quanto che era abbracciato
» dalla stessa visuale condotta al punto estremo, senza dover imprimere
» al cannocchiale dello stromento alcun movimento in senso verticale.

Triangolazione.

» La rete trigometrica eseguita per la misura della lunghezza della gal-
» leria ha, come più sopra si disse, per base un lato della triangolazione

» dello Stato-maggiore, scelto fra quanti si presentavano convenienti
» a tal uopo. Questo è il lato *Grand-Vallon-Jafferau* appartenente ad un
» triangolo, che non è fra quelli di primo ordine, ma che è a questi
» direttamente legato. Uno dei suoi punti estremi trovasi sull' istessa
» cresta, ed a poca distanza dall'osservatorio del Grand-Vallon; l'altro, Jaf-
» ferau, è il vertice della montagna, che sulla sinistra della Dora
» sovrasta ai due bacini di Oulx e di Bardonnèche, e si eleva a circa
» 2800 metri sul livello del mare. La lunghezza di questo lato è di
» metri 8693. 58.

» Appoggiata a questa base, la rete trigometrica può considerarsi come
» divisa in due ben distinti sistemi di triangoli. L'uno comprende la base,
» ed i triangoli che si stendono a mezzodì della catena principale; l'altro,
» ed è quello che ne conta un minor numero, abbraccia i triangoli della
» parte opposta. A questi due sistemi serve di nesso un lato comune, i
» cui punti estremi trovansi naturalmente sulla vetta dell'istessa catena.
» Dall' uno di essi si ricava la lunghezza del tratto di galleria compreso
» fra l'imbocco sud e l'osservatorio del Grand-Vallon; dall'altro quella del
» tratto compreso fra lo stesso osservatorio e l'imbocco nord, e così si
» ottiene la totale lunghezza della galleria.

» Ambi questi risultati si ottengono per due provenienze diverse, di
» diverse serie di triangoli, e lo stesso avviene per il lato che serve di
» passaggio dall'uno all'altro degli anzidetti sistemi.

» La rete intiera consta di 28 triangoli, ed il numero complessivo degli
» angoli osservati ascende, come già venne accennato, ad 86. La maggior
» parte di essi furono ripetuti venti volte almeno; quelli dei triangoli più
» importanti lo furono anche fino a sessanta; quelli dei minori lo furono
» almeno dieci volte. La misura degli angoli era fatta con un teodolito
» di Gambey, di proprietà dello Stato-maggiore, il cui nonnio dava alla
» prima lettura un'approssimazione di cinque secondi.

» Mediante i frequenti controlli, che si ottennero nella risoluzione dei
» triangoli, giungendo ad uno stesso risultato per provenienze di serie di-
» verse, si poterono limitare gli errori d'osservazione al punto, da non
» doverne in verun modo temere le conseguenze, giacchè egli è chiaro, che
» anche un errore di tre a quattro metri nella lunghezza della galleria

» (e a questo limite non possono giungere gli errori di osservazione) non
» arrecando modificazione sensibile alle livellette, non può in alcun modo
» essere di ostacolo alla regolare riunione dei due tratti di galleria sca-
» vati dai due imbocchi.

» Da quanto si venne fin qui esponendo si rileva come la esecuzione
» di tutte le operazioni di tracciamento e di triangolazione non abbia in
» sè stessa presentate difficoltà di sorta. Nulla è più facile quanto il
» segnare una linea retta sul terreno, quanto il misurare un angolo fra due
» punti dati.

Difficoltà incontrate.

» Le difficoltà incontrate sono di un genere affatto estrinseco alla
» natura del lavoro, e dipendenti solo dall'asprezza dei luoghi in cui si
» dovette operare, e dalle loro condizioni atmosferiche. La nebbia, la neve,
» il sole, ed il vento si succedono in quelle alte regioni con rapida
» vicenda, e rendono frequentemente impossibile qualunque operazione. Il
» vento in ispecie arreca i più gravi disturbi, e cagiona le più grandi
» perdite di tempo, sia rendendo impossibile il servirsi dello stromento,
» sia spingendo sul punto di mira frequenti nuvole, che ad un tratto sbu-
» cavano fuori, precisamente al momento in cui quel punto diventava
» oggetto di osservazione.

» A ciò arroge la necessità di giornaliere ascese e discese di 800 a 1000
» metri di altezza per roccie e sentieri malagevolissimi. A questo proposito
» basterà citare il fatto, che per la misura di sette angoli, che doveano
» osservarsi dal vertice più elevato della rete trigonometrica, vertice deno-
» minato *Pelouse*, comecchè sovrastante al colle di quel nome, e che si eleva
» di oltre a 3100 sul livello del mare, si dovette per ben sette giorni
» consecutivi rifare l'arduo cammino che separa quel punto dai *chalets*
» della Rionda, situati appena a 2000 metri sul mare, raramente avvenendo,
» a causa dell'inclemenza del clima, che in un giorno si potessero osser-
» vare più di due angoli, mentre per contro più volte accadeva di non
» poterne misurare alcuno.

» Quando poi la stagione era già alquanto inoltrata, e la prima neve già
» incominciava a coprire il terreno, allora le variazioni atmosferiche erano
» ancor più frequenti e subitanee, e non di rado avveniva, giungendo
» sulle alte vette dopo una rapida ascesa, d'incontrare una temperatura

» così bassa, accompagnata da vento così diaccio, da riescire assai malage-
» vole di soffermarvisi.

» Dalle quali circostanze si fa palese, che se i tracciamenti eseguiti erano
» facil cosa di per sè, e null'altro richiedenti che la maggior precisione delle
» osservazioni, divennero difficili, e resero necessaria tanta maggior pazienza
» ed esattezza per estrinseche difficoltà di luogo e di clima, alle quali
» riflettendo, non sarà per avventura per sembrare soverchio il tempo
» impiegato nelle operazioni, e potrà ritenersi per un buon risultato il
» grado di esattezza colle medesime ottenuto.

» Modane, febbraio 1863.

« *L'Ingegnere di sezione*
» E. Copello ».

§ 2.°

Rassegna dei lavori preparatorii.

Nel frattempo che veniva incominciata ai due imbocchi l'escavazione della galleria coi mezzi ordinari, non si trascuravano quegli altri lavori esterni, diretti a facilitare, ed a rendere possibili le costruzioni delle quali si studiavano i progetti. A Bardonnèche si riparò da prima la strada consortile di Oulx su tutta la sua lunghezza, si fortificarono i ponti, altri si rifecero. Si costrussero ottocento metri di strada di servizio lungo il torrente Rochemolles per mettere in comunicazione l'imbocco della galleria con la strada consortile. Per essa si costrussero due ponti in legno sul torrente Rochemolles deviato, e rettificato, e si procurò di metterla al riparo delle acque del torrente mediante una forte, e continua gettata di grossi massi.

A Modane si diè tosto in appalto, e si cominciò di fatto, l'erezione del vasto locale destinato alle officine ed ai magazzini. Da una parte e dall'altra si stabilirono gli offizi in modo, che nell'inverno 1857-58 si potessero preparare i progetti da eseguirsi nella campagna 1858 e seguenti. E in fatto, al sopraggiungere della stagione propizia, i lavori furono da ambe le parti intrapresi con la più grande alacrità.

Non ci dilungheremo ora a discorrere minutamente delle singole opere costrutte, credendo che basti, per farsi un esatto concetto della loro mole, il produrne l' enumerazione, la quale farà prova dell' utile impiego del tempo; oltre ai lavori già accennati si costrussero nelle campagne 58-59-60 a Bardonnèche:

1.° Un canale in muratura, della larghezza media di metri 1. 20, e della portata di un metro cubo, lungo ben oltre tre chilometri, e coperto ora con vôlto, ora con lastroni di pietra su tutta la sua lunghezza; questo canale, destinato a portare le acque del Melezet al cantiere della compressione dell'aria, è condotto generalmente nelle falde della montagna, ora più, ora meno ripide, ed attraversa vari torrenti, passandovi sotto; finalmente attraversa il Merdovine con un ponte-canale.

A questo canale si annettono vari edifici idraulici per la presa, lo scarico, e lo spurgo delle acque.

2.° Un vasto serbatoio nel fianco della montagna, posto a 50 metri sopra il piano dei cantieri sottostanti, coperto con vôlto, e capace di 400 metri cubi d'acqua. Questo serbatoio, messo in comunicazione coi recipienti dell'aria compressa, ne mantiene costante la tensione a sei atmosfere.

3.° Un edifizio per le officine di riparazione, nel quale si eressero tutte le diverse macchine lavoranti, necessarie per tornire, spianare, e forare i metalli; si stabilì una *turbine* della forza di 12 cavalli, che dà il moto a tutte queste macchine, e ad una ventola che soffia in dodici fucine.

4.° Il vasto edifizio dei compressori col soprastante castello d'acqua, dal quale le acque irrompono nelle colonne di compressione con un' altezza di 26 metri.

5.° Una casa operaia a due piani, oltre il terreno, comprendente 96 camere.

6.° Un edificio ad uso di magazzino presso l'imbocco della galleria,

una casa per gli assistenti, e diverse tettoie chiuse ad uso di cantieri speciali, come manipolazione delle malte, lavoratura delle centine, piccole riparazioni ai meccanismi in galleria, fucine per ritemprare li scalpelli, ecc.

7.° Le tettoie, fornaci, strade d'accesso, canali di scolo nel cantiere dei mattoni.

A Modane si riprodussero le stesse opere, con le varianti imposte dalle diverse condizioni di località. Noteremo eccezionalmente il canale di derivazione per condurre le acque dell' Arc all' edificio dei compressori; canale, che riescì di molto più difficile che quello di Bardonnèche, sia per le dimensioni più grandi, sia per le speciali difficoltà inerenti alle località. Esso, dalle vicinanze del ponte sul Charmaix, attraverso la strada imperiale, dove ha principio, corre paralellamente all' Arc sino all' edificio delle ruote per una lunghezza di metri 640. 00, elevandosi sempre sulle acque dell'Arc sino a guadagnare un'altezza totale di metri 6. 00; dopo il salto entra in un canale di scarico della profondità di oltre sei metri sotto il suolo naturale, e con una larghezza di oltre 20 metri fra sponda e sponda; dove l'acqua si restituisce nell' Arc il canale è coperto con vôlto, ed è protetto da robusto arginamento. La portata minima del canale è di sei metri cubi; questo canale, e l'edificio delle ruote, per la difficoltà di fondare sotto acqua, e in suolo mal fermo, furono d'una costruzione lunga e costosa. I lavori procedettero lentamente sì, ma in modo soddisfacente, e da non lasciare dubbio alcuno sulla loro saldezza.

Noteremo inoltre il piano automotore, coi relativi meccanismi, che collega il cantiere delle officine di riparazione, posto sul fondo della valle, col cantiere dell' imbocco della galleria aperto sul fianco del monte a metri 106 incirca sul piano sottostante; ma delle particolari disposizioni di questo piano inclinato, e dei congegni inerenti, se ne parlerà di proposito in altro luogo.

IV.

Studio dei progetti, e costruzione dei meccanismi.

Mentre i lavori enumerati erano in corso di esecuzione, con non minore alacrità si spingevano li studi dei progetti e la costruzione dei meccanismi. Gli esperimenti della Coscia avevano dimostrato bensì l'utilità del sistema proposto nelle due parti essenziali e distinte, la compressione dell'aria e la perforazione meccanica, ed avevano confermato i proponenti nell'idea, che il problema era oramai sciolto; ma avevano altresì posto in evidenza una serie d'inconvenienti pratici, ai quali la Direzione tecnica doveva riparare con opportune modificazioni.

Da un compressore, che dava due litri e mezzo d'aria compressa al minuto secondo, bisognava passare ad un altro, che ne somministrasse il quadruplo, e costrurne un numero di 10 almeno, fra loro sconnessi e coniugati ad un tempo, in modo che potessero lavorare o tutti assieme, o separatamente; e bisognava studiare, per gli organi secondari, altre disposizioni, avendo li esperimenti fatto scorgere i difetti delle prime.

Nella perforatrice altre modificazioni erano da trovarsi, e da introdursi; e in prima era da diminuirsene il peso di circa la metà, senza tuttavia diminuirne la forza; era da mantenersi il sistema automotore della macchina, ed i cinque movimenti, mediante i quali si potè escludere la

cooperazione continua dell'uomo; ma due di essi, quello cioè dell'avanzamento, e l'altro della rotazione dello scalpello, richiedevano riforme radicali; ed era ancora da studiarsi l'intero materiale mobile della piccola galleria d'avanzamento, ed anzitutto era da studiarsi l'affusto, sul quale si avevano a collocare le perforatrici. Quest' affusto, che altro non è che uno scheletro di ferro portato da ruote, e del peso di circa 12 tonnellate quando è carico di tutti gli accessori, per mancanza di tempo non aveva potuto essere esperimentato alla Coscia con le altre parti del sistema; e quindi tanto maggiore era la difficoltà di dargli forme e dimensioni opportune, difettando onninamente i dati pratici dai quali trar si potesse una qualche norma.

Il tempo materialmente indispensabile alla esecuzione dei lavori preparatorii d'ogni specie, necessarii per l'impianto dei meccanismi, quand'anche questi fossero già stati in pronto, fu sufficiente per studiarli e costrurli. Mentre adunque si spingevano le opere preparatorie ai due imbocchi si allestivano nello stabilimento della casa Cockerill di Seraing i progetti esecutivi di tutto il materiale meccanico fisso e mobile; e nel giugno 1858 l'Amministrazione potè firmare un contratto per tutto il materiale fisso per la compressione dell'aria, e nel settembre 1859 ne potè firmare un altro pel materiale della perforazione, e mobile. Nel primo bimestre del 1859 i primi pezzi dei compressori giungevano a Bardonnèche, e se ne incominciava l'erezione nell'apposito edificio, che pur non era peranco ultimato.

La cattiva stagione rallentò i trasporti, e la campagna del 1859 li interruppe affatto, essendone allora tutti i mezzi dedicati ai bisogni della guerra; malgrado queste traversie alli 3 novembre 1860 avemmo cinque compressori in opera all'imbocco di Bardonnèche.

V.

Prove dei compressori a Bardonnèche.

Allora si incominciò una lunga serie di prove con queste macchine, dirette tanto ad impratichire gli operai nel governo di esse, quanto ad accertarne le condizioni di solidità, di durata, e di buon servizio, facendo risaltare i difetti ignoti, che potessero manifestarsi più tardi, col far crescere a bella posta quelle cause di sconcerto, che possono insorgere allorchè l'andamento normale d'una macchina si trova attraversato da impedimenti inerenti ed estranei sia al concetto scientifico di essa, sia alle forme, alle disposizioni, e congegnatura delle sue parti. Il porre a cimento le macchine è non solo una necessità dell'arte dell'ingegnere, ma è di più un prescritto della legge, quando la sicurezza delle persone può essere compromessa.

Nel caso nostro quantunque gli accidenti possibili non debbano per nulla mettersi in confronto con le terribili esplosioni delle caldaie a vapore, pure quelle colonne d'acqua, del peso di circa 15 mila chilogrammi, oscillanti nei loro condotti, con la velocità dei gravi cadenti, non potrebbero venire intoppate nel loro moto regolare senza gravi sconcerti, e senza probabili rotture, da cui potrebbero essere danneggiate le persone; e ad ogni temibile pericolo incombeva l'obbligo di andar incontro con appositi esperimenti, onde, il caso avvenendo, prepararne il rimedio. Ebbimo infatto

gravi e non infrequenti rotture nei compressori e nei condotti dell' aria, ma ci affrettiamo a soggiungere, che nissuno fu causa di funesti accidenti alle persone, e nel lavoro stesso non s'ebbero a soffrire che momentanee interruzioni, e le inevitabili conseguenze dello scompiglio cagionato dall'irrompere repentino di quei getti d'acqua grossi, alti, ed irresistibili, che in un attimo allagavano tutto il vasto edificio dei compressori, e spaventavano il personale.

Oltre alle precauzioni imposte dalla prudenza, e da quel senso di umanità, che obbliga i capi a corrispondere con altrettanta vigilanza ed antiveggenza alla fiduciosa e quasi cieca devozione con la quale gli operai concorrono ai loro disegni, un altro scopo ancora si era preso di mira nel ripetere questi esperimenti. Si disse, che i lavori di escavazione della galleria eransi incominciati sin dalla promulgazione della legge, e proseguiti senza interruzione: per quanto piccolo fosse l'avanzamento, che si otteneva, questo era pur sempre un prezioso guadagno, ed un tale lavoro non poteva venir sospeso sino all'impianto della perforazione meccanica in galleria, la quale non poteva riescire veramente proficua fino a che il sistema della compressione dell'aria, da cui dipende, non fosse entrato in uno stadio soddisfacente di un normale e regolare servizio, al che appunto tendevano gli esperimenti e le prove intraprese.— E tanto più ragionevole era questo divisamento, che la sostituzione delle perforatrici al metodo ordinario doveva di sua natura dar luogo a molte altre diverse e svariate cause di rallentamento, e tali da consigliare di non tentare la seconda prova, finchè la prima, quella dell'aria compressa, non fosse completamente vinta.

Confermandoci a questi principii, si spesero circa tre mesi in ripetute prove intorno ai compressori, introducendovi tutte quelle modificazioni, la cui necessità, od utilità, veniva indicata dall'esperienza non solo nelle macchine stesse, ma eziandio nei canali, nei serbatoi, nelle condotte, ed in tutte quelle parti minori, che collegano fra loro le parti essenziali; si pose in opera il gran condotto dell'aria compressa, che dall'edifizio dei compressori va a sboccare in fondo alla galleria, operazione anche questa di non lieve momento per la necessità in cui si era di dare al condotto un assetto robusto tra l'una e l'altra delle molte piegature del terreno, lungo il quale

doveva accomodarsene l'asse, per la necessità di connettere i diversi tronchi in modo da permettere la facile contrazione o dilatazione sotto l'influenza dei cambiamenti di temperatura, ed infine di rendere le unioni perfettamenti ermetiche. E qui possiamo con sicurezza affermare, che quest'operazione, la quale pareva suscitare tanti dubbi, ebbe una riescita assoluta e completa, poichè sull'intero condotto, di ben due chilometri di lunghezza, anche oggi giorno non si potrebbe scorgere una fuga d'aria capace di far vacillare la fiamma d'un lume.

In mezzo a quei lavori di prove, di correzioni, e di modificazioni in tutto il complesso del sistema, si giunse ad avere pel 10 novembre 1860 cinque compressori che lavoravano insieme, e la produzione dell' aria essendo così assicurata, si stava per dar principio alla perforazione meccanica in galleria, quando il giorno 12 dello stesso mese, tutto ad un tratto, e con gran frastuono, si ruppero due tubi maestri del quinto compressore, il quale pure aveva di già lavorato regolarmente per più d'un mese.

L'accidente non ebbe alcun seguito funesto per gli uomini preposti a quei meccanismi, nè fu di danno agli altri compressori, e si sarebbe potuto continuare il lavoro della compressione dell'aria con solo quattro compressori, mentre si sarebbe riparato il quinto. Ma la prudenza disconsigliava un tal partito, poichè avendo tosto cercato la causa del colpo d'ariete„ che aveva prodotto la rottura dei tubi, si trovò che questa consisteva nella mancanza di un meccanismo sicuro, che collegasse tra loro le due valvole d' alimentazione e di scarico in modo tale, che quella non potesse compiere la sua evoluzione completa, senza che questa non avesse otturato appieno la luce, per la quale l'acqua, dopo di aver prodotto il suo effetto nella camera di compressione, esce dal compressore; e quindi questa causa d'accidente potendosi riprodurre anche negli altri compressori con tanta maggiore facilità, chè il canale non era per anco coperto del tutto, e che le acque non essendo allora, come lo furono da poi, fatte passare attraverso speciali filtri e bacini d'epurazione, trascinavano con sè molte materie estranee racimolate nel loro corso in grande quantità, si deliberò di sospendere la compressione finchè non si fosse ovviato al lamentato inconveniente.

A questo effetto si disegnò tosto un meccanismo di sicurezza, atto ad ottenere lo scopo, e nelle officine delle strade ferrate in pochi giorni si

poterono aver in pronto cinque di quei meccanismi mercè l'instancabile zelo dell' ingegnere Vittorio Pacthod, ed alli 12 gennaio 1861 si potè finalmente spingere in galleria l'affusto delle perforatrici, il quale per la prima volta entrava nelle viscere delle alpi con solo quattro di esse.

Ma della perforazione diremo a suo tempo, e non interromperemo ora la storia della compressione, proseguendo a notarne le vicende da quella data sino ad oggi. Da quell' epoca in poi la produzione dell' aria fu assicurata in quantità più che sufficiente ai primi bisogni della perforazione. Lungo l'anno 1861 si ebbero invero frequenti rotture di pezzi, ma non tali da incagliare il servizio, stante la facilità di poter tenere in riposo e riparare qualsiasi compressore mentre gli altri sono in azione. Nel congegnare un sistema meccanico di tanta mole, destinato a reggere all'impeto di colossali colonne d'acqua, si era fatto profitto di tutti quei mezzi teoretici e dati esperimentali che formano la scienza dell'ingegnere, ma i quali nelle cose nuove sono piuttosto guida per evitare di far troppo male, che una sicura norma per fare ottimamente. Si avevano bensì le esperienze della Coscia, ma in queste non si erano prodotti che guasti trascurabili; oltre ciò tutti i movimenti secondari pel governo delle valvole erano stati stabiliti in modo affatto diverso, e nuovo, ed i compressori erano stati aumentati in altezza e in diametro a segno di poter dare un volume quadruplo d' aria compressa. Di tali circostanze si era tenuto conto nello studiare le dimensioni parziali dei nuovi meccanismi, ma non si potè in tutto e sempre ottenere quelle cifre rassicuranti, alle quali sola l'esperienza, che mancava, avrebbe potuto condurre; e perciò senza meraviglia vedemmo prodursi rotture e guasti in diverse parti secondarie del sistema, ai quali si riparava dando alle parti di ricambio quelle dimensioni additate dai fatti accaduti. Ma i guasti avvenuti, come già s'ebbe a dire, si ripararono senza interrompere la compressione dell'aria, la quale si effettuò lungo l'anno 1861 con cinque compressori, finchè verso il finire d'aprile 1862 ne ebbimo in attività altri cinque.

Il servizio non fu mai più sospeso se non per ragioni estranee ai compressori, e tralasciando di parlare delle interruzioni momentanee, avvenute per cause relativamente non gravi, ne ricorderemo una sola, che durò per più giorni nei mesi di maggio e giugno 1861. In quell' epoca le acque del canale, le quali, come si è detto, sono derivate dal torrente Melezet,

diventarono, in seguito a forti pioggie ed allo scioglimento della neve, talmente torbide e ricolme di fogliuzze, di barbette, di bruscoli ed altre materie, che si fu costretti a tener in riposo i compressori. Ella era cosa certa, che in altre circostanze analoghe lo stesso fenomeno si sarebbe ripetuto; urgeva quindi porvi riparo stabilmente. A tal uopo si determinò di scavare ai due terzi della lunghezza del canale, e presso all'abitato di Bardonnèche, un vasto bacino d'epurazione, e si eseguì di fatto; le acque entrano in quel bacino nel loro stato d'impurità, e con la velocità concepita nel canale, e subito allargandosi su tutta l'estensione del bacino, cambiano quella velocità in un' altra molto minore, e così possono deporre al fondo le materie più dense, mentre le altre, portate a galla, sono raccolte all'altra estremità del bacino mediante graticci mobili, al governo dei quali sta preposta una guardia, che li mantiene sempre puliti. L'esecuzione di questo lavoro durò dal 17 maggio al 24 giugno.

Il guadagno, che si ottenne con tutti questi lavori di riparazioni, miglioramenti, e di complemento alle opere diverse, il cui assieme costituisce il sistema di compressione, fu che questo si mantenne in lodevole stato di esercizio da quell'epoca sino al giorno presente, e non fu soggetto ad interruzioni nella produzione dell'aria compressa. Non è qui il caso di entrare in considerazioni scientifiche riguardo alle questioni cui può dar luogo il compressore idropneumatico sia dal lato tecnico, sia dal lato industriale, dovendo queste essere riservate per un trattato speciale anzichè venire intercalate in una relazione amministrativa, il cui scopo senza dubbio è di accertare i fatti d'esperienza tali da influire sull'avvenire dell'impresa, e non di discutere sui pregi o difetti tecnici dei mezzi impiegati. Ad ogni modo, tanto il compressore, quanto il perforatore, furono descritti e giudicati con tanta maestria e lucidezza nella relazione della Commissione pubblicata nell'anno 1857, che la Direzione tecnica non potrebbe far meglio di rimandare a quel pregevole scritto chi desiderasse più particolareggiati schiarimenti al proposito. E chi terrà a mente gli studi fatti dalla Commissione potrà facilmente giudicare i risultati ottenuti a Bardonnèche durante uno spazio di 18 mesi di esercizio regolare pei compressori, e di 12 mesi di lavoro con le perforatrici.

Questi risultati noi li riferiremo più oltre con tutta l'esattezza conseguibile dai registri in cui giorno per giorno quei risultati vennero consegnati.

VI.

Descrizione dell' assieme

di tutto il sistema di compressione a Bardonnèche.

Sin' ora abbiamo toccato per ordine di tempo tutto quanto si fece per l'impianto dei compressori, delle officine e degli altri cantieri, e dei lavori preparatorii dipendenti dal perforamento, e siamo giunti sino a quando la compressione dell' aria è entrata in istato di regolare e sicuro servizio. Ora giova abbracciare con un solo colpo d'occhio tutto l'insieme del sistema.

Prima di tutto noteremo, che le diverse altezze, che verranno accennate, si riferiranno ad un piano orizzontale regolatore, che diremo piano di scarico, perchè esso contiene il punto al quale trovasi l'acqua nella camera di compressione quando questa è piena d' aria atmosferica, che sta per ricevere il colpo discendente della colonna di compressione.

Ciò posto, supponiamo lo spettatore posto su questo piano, e rimpetto all'officina di compressione: tra a destra ed a sinistra egli ha avanti a sè dieci compressori uguali in tutto fra loro, e divisi in due gruppi di cinque cadauno; fra mezzo ai due gruppi stanno due macchine motrici, mosse alla loro volta dall'aria compressa (e che perciò noi diremo *Aereomotori*), ciascuna delle quali impartisce il movimento ad un asse orizzontale, il cui ufficio è di aprire e chiudere a tempo debito le valvole di alimentazione e di scarico di ciascun compressore. Quest'asse noi lo diremo asse maestro.

Un gruppo è indipendente dall'altro, ed ha il suo aereomotore col suo asse maestro; ma con un solo aereomotore, e mediante un semplicissimo apparecchio, si può governare l'uno o l'altro gruppo separatamente, o tutti due in una volta. Di più, uno qualunque dei compressori, mentre gli altri lavorano, può mettersi alternativamente in riposo, o in movimento, e può anche guastarsi senza interrompere il gioco degli altri. Queste disposizioni, nel nostro caso speciale, erano di una necessità assoluta per assicurare, in ogni evento, la produzione d'aria sufficiente onde evitare le sospensioni, anche momentanee, nella perforazione meccanica, e queste disposizioni le riscontreremo in tutti gli altri apparecchi del sistema.

Per ogni giro dell'asse maestro si ha una evoluzione completa in ciascun compressore; l'esperienza e la prudenza ci insegnarono, che il numero dei giri dell'asse maestro, e conseguentemente il numero delle pulsazioni dei compressori, nello stato attuale delle macchine, non dovevano andare al di là di tre per minuto primo.

Dinnanzi ai compressori stanno schierati in un ordine corrispondente dieci recipienti cilindrici a calotte sferiche, nei quali, a ciascuna pulsazione, l'aria compressa viene ad essere imprigionata dalla colonna stessa che operò la compressione. Questi recipienti sono costrutti con tutta quella solidità che la prudenza consigliava. Le lamiere di ferro, di cui sono composte le pareti, non vanno soggette ad uno sforzo maggiore di quattro chilogrammi per millimetro quadrato. I dieci recipienti mediante un tubo sono messi in comunicazione tra loro, per modo da formare un recipiente solo; nel tempo stesso, e per mezzo d' una semplice valvola, ognuno dei recipienti può essere isolato dagli altri, e così senza interrompere il lavoro è facile procedere alle riparazioni di uno qualunque di essi, ove se ne manifestasse il bisogno. La capacità di cadauno dei recipienti è di 17 metri cubi, e per avere una norma esatta e certa onde misurare la quantità d' aria prodotta, o consumata, si è operata la stazatura di ciascun recipiente, direttamente versandovi un ettolitro d' acqua alla volta, e segnando sopra una scala altimetrica le linee corrispondenti ai vari volumi contenuti di decimo in decimo di metro cubo, e per tal modo si è potuto raccogliere con sufficiente esattezza i dati, che più oltre riferiremo.

A 26 metri sopra il piano regolatore, o di scarico, havvi il serbatojo di

compressione, nel quale mettono capo tutte le colonne dei compressori; questi 26 metri segnano l' altezza o battente della colonna comprimente quando essa comincia ad agire. Nel serbatoio di compressione le colonne hanno la forma d'un imbuto, per togliere l' effetto della contrazione della vena, e ciascuna è munita di un coperchio, col quale si può chiudere ermeticamente l'adito all'acqua, e quindi il compressore corrispondente, trovandosi vuoto, può a piacimento essere visitato o riparato mentre gli altri lavorano.

Le acque al serbatoio di compressione sono condotte mediante grossi tubi di ferro, che le ricevono dal canale di derivazione posto a 20 metri più in alto del serbatoio stesso. A questi tubi va unito tutto il solito corredo di paratoie, valvole, ecc., necessarie pel governo delle acque.

Più in alto ancora, ed a 50 metri sopra il piano di scarico, nel fianco della collina sovrastante, sta il serbatoio regolatore, di una capacità di 400 metri cubi, costrutto in muro, con robustissima vôlta sorretta da pilastri, e coperta da terra per l'altezza di un metro onde sottrarre le acque dall'influenza del gelo. Dal serbatoio regolatore si diramano due condotti in ferro, di cui l'uno comunica col primo gruppo dei recipienti d'aria, l'altro con il secondo; ognuno dei recipienti d' aria è congiunto col tubo che pesca nel bacino regolatore; e la colonna d' acqua, contenuta in questi condotti con un battente di 50 metri d' altezza, è quella che mantiene invariabile, o quasi, la pressione dell'aria nei recipienti.

Anche riguardo alla colonna regolatrice i recipienti possono, mediante apposite valvole, riceverne l'azione o tutti assieme, o separatamente: e sono anche per questo rispetto e solidari e indipendenti l'uno dall'altro, giusta le esigenze del servizio.

Finalmente tutto il sistema riceve il suo complemento dal gran condotto d'aria che, staccandosi dal recipiente, corre lungo la strada di servizio secondandone le varie inflezioni, e poggiando su pilastri in muro, e va a portare l'aria compressa in galleria sino all'estremo limite dell'avanzamento.

Lo sviluppo attuale del condotto è in cifre tonde di metri 2000. Il tratto che corre fra l'edifizio di compressione e l'imbocco della galleria è di metri 800, diviso in tronchi rettilinei, con altrettanti apparecchi di dilatazione quanti sono i tronchi. Questo tratto ebbe di già a resistere a tutte

le vicende del clima di Bardonnèche, a variazioni di temperatura da 17° gradi sotto lo zero a 40° sopra (nelle parti esposte al sole), eppure non mai ci venne dato scoprire che da quelle circostanze così sfavorevoli risultasse qualche inconveniente di rilievo, a malgrado anche che una parte del condotto rimanga il verno interamente sepolta sotto le nevi.

Il condotto ha un diametro interno di venti centimetri, con grossezza alle pareti di un centimetro, ed i tubi che lo compongono hanno in regola generale due metri di lunghezza. Essi furono gettati in ferro fuso di speciale qualità, e le loro unioni sono fatte con anelli di caucciù, i quali, compressi e schiacciati tra le labbra dei tubi, le rendono perfettamente ermetiche.

Descritto così il sistema di compressione dell'aria a Bardonnèche, diremo ora della perforazione meccanica.

VII.

Perforazione meccanica a Bardonnèche.

Veramente parrebbe essere qui luogo, dopo aver discorso della compressione dell'aria a Bardonnèche, passare in rassegna le opere analoghe eseguite a Modane.

Ma, oltre che le cose dette, per la massima parte e nella loro sostanza si applicano ai lavori di Modane, lo scopo della presente relazione essendo di porre sott'occhio all'Amministrazione un sunto chiaro e lucido di tutto il sistema meccanico ora in attività ai due imbocchi, ci pare più acconcio di soffermarci a Bardonnèche per passare in rassegna il lavoro della perforazione, che dura da oltre un anno, mettendo così in un sol quadro le due parti del sistema, per poi passare a Modane a descrivere i lavori eseguiti, od in corso di esecuzione, senza obbligo di ripetere tutti quei particolari, che sono comuni ai due cantieri. In tale divisamento entreremo in galleria per dire della perforazione meccanica.

Anzi tutto non è fuor di proposito il farsi un esatto concetto del luogo, avvegnacchè, parlando di perforazione, non si devono perdere di vista i mezzi secondari coi quali si rende possibile.

A chi entra in galleria, e ne percorre la lunghezza fino al punto estremo dove lavorano le perforatrici, essa si mostra in tre ben distinte parti. La

prima è la parte di già rivestita, e completamente ultimata. Segue la seconda tratta, nella quale hanno luogo i lavori d'ingrandimento; in questa tratta, frammezzo ad una selva di legnami formanti le armature pei rivestimenti, i puntellamenti alla roccia, ed i ponti di servizio, lavorano i minatori all'allargamento della sezione, i muratori all'innalzamento dei piedritti, gli armatori al puntellamento della roccia minacciante, i legnaiuoli all'erezione delle centine, ed altre squadre di muratori ai vôlti di rivestimento; e tutti questi differenti artieri s'avanzano quasi sempre nello stesso ordine a misura dell'avanzamento totale del lavoro; oltrepassata questa tratta, che si mantiene la più breve possibile, si entra nella galleria preparatoria, scavata con l'aria compressa e con le perforatrici. Questa galleria è come una breccia aperta nella roccia per rendere più facile l' escavazione in grande sezione; ed è dall'avanzamento ottenuto in essa che dipende la celerità ottenibile in tutti i lavori che seguono; per ora le macchine sono applicate solo alla galleria preparatoria, ed il lavoro d' ingradimento si eseguisce coi metodi ordinari.

Nella galleria d'avanzamento penetra e si prolunga il binario di ruotaie che attraversa le due prime tratte di galleria, e non finisce che a brevissima distanza dalla fronte d'attacco; ivi viene di mano in mano prolungato con la successiva aggiunta di ruotaie di due metri di lunghezza; il binario ha la larghezza normale dei binari ordinari, e così non è che un tronco della rete di vie di servizio interne ed esterne alla galleria. L'affusto delle perforatrici si muove su questo binario, e può, in caso di bisogno, essere tratto fuori della galleria e condotto sui cantieri esterni al pari dei vagoni di servizio; altri binari di minore ampiezza sono disposti paralellamente al principale, e servono per la circolazione dei piccoli carretti o *vagoncini* sui quali si esportano i frantumi di roccia prodotti dall'esplosione delle mine d'avanzamento. Sotto il binario principale è scavato un largo solco o fosso continuo, che si prolunga col progredire dell' avanzamento, nel quale si collocano i tubi di ferro, che portano all'attacco l'aria compressa, l'acqua, ed il gaz-luce. Il fosso poi si ricopre in modo, che i tubi inchiusi non abbiano a soffrire dei detriti di roccia lanciati dalle mine.

Nella piccola galleria è ricoverato tutto il materiale di perforazione, coi pezzi di ricambio indispensabili; ed il servizio è regolato in modo, che

5

almeno una muta od attacco possa compiersi senza aver da ricorrere nè ai magazzini, nè alle officine per causa di guasti durante il lavoro. Uno dei vantaggi del sistema consiste in ciò, che ogni perforatore è indipendente dagli altri, ed uno o più possono guastarsi senza che abbia a soffrire il lavoro degli altri, e con una pronta surrogazione di perforatore in buon stato si riprende il parziale interrotto lavoro senza discapito del lavoro generale.

Nella galleria preparatoria sono stabilite due porte di sicurezza, costrutte con travi e grossi tavoloni, e girevoli su due perni. Esse, quando chiuse, costituiscono un riparo efficace contro i sassi lanciati dalle mine d'avanzamento; e, quando aperte, lasciano libera a tutti i movimenti l'intera sezione della galleria.

Queste porte si trasportano più oltre ogni qual volta la loro distanza dal fronte d'attacco si è fatta soverchia, cioè quando il lavoro ha progredito da 60 ad 80 metri, giusta le speciali convenienze del servizio.

La sezione della galleria preparatoria ha una larghezza all'incirca di m. 3. 40, ed un'altezza di circa 2. 40, e si mantiene lunga quanto basti per lasciar campo sufficiente a tutte le operazioni d'avanzamento, le quali si devono compiere senza ricevere incaglio dai lavori d'ingrandimento, nè a questi essere d'inciampo. Conosciamo, dietro lo schizzo tracciato, l'angusto spazio in cui hanno da compiersi le svariate manovre della perforazione meccanica, e queste ci faremo ora a descrivere.

L'affusto si presenta alla fronte d'avanzamento armato di 9 o 10 perforatori disposti gli uni paralellamente all'asse, e contro il mezzo, gli altri sul perimetro, e in direzione divergente dall'asse a destra ed a sinistra, all'alto ed al basso. Ad ogni perforatore sono annessi due tubi flessibili, l'uno per l'aria compressa, l'altro per l'acqua, che si proietta nei fori; attorno all'affusto stanno:

1.° Un capo-posto;

2.° Quattro operai meccanici;

3.° Due scalpellini-minatori;

4.° Otto lavoranti pel maneggio degli scalpelli;

5.° Nove operai per la condotta delle macchine, ed il governo dell'aria compressa e dell'acqua;

6.° Cinque ragazzi specialmente preposti alla manovra di certi organi dei perforatori, e all'ugnimento generale dei meccanismi;

7.° Otto lavoranti addetti al servizio dei perforatori, e due altri per comunicare coi depositi diversi e cantieri esterni;

In totale 37 persone.

I lavori sono illuminati col gaz, condotto in fondo alla galleria, come l'aria compressa, in tubi di ferro dal gazometro stabilito all'esterno presso le officine di riparazioni.

La prima operazione è di determinare i punti convenienti per i fori da praticarsi; questa finita, si mettono i perforatori a quella distanza della roccia, che segna la corsa utile dello stantuffo percussore; ogni macchina, essendo indipendente dalle altre, si mette in attività tosto che ogni cosa, che le spetta, è all'ordine, e si prosegue con essa a fare quel maggior numero di fori che è possibile, per modo che i perforatori, che sono in miglior stato, ed hanno a forare una roccia meno difficile, compiono talvolta un numero di fori doppio di quelli che, o si guastano, o lavorano in peggiori condizioni, sia per la posizione che occupano, sia per la natura della roccia.

Per ogni attacco si praticano mediamente 80 fori della profondità da 75 ad 80 centimetri; il maggior numero di quei fori si pratica verso la parte centrale della fronte d'attacco, dove hassi ad aprire la breccia, che si fa saltare prima di dare il fuoco alle mine del perimetro.

Finita la perforazione degli 80 fori da mina comincia il secondo periodo della operazione.

Levate le comunicazioni fra la condotta d'aria e l'affusto, questo viene spinto indietro sino a riescire al riparo dai colpi di mina al di là delle porte di sicurezza; ed i fuochisti, coi loro attrezzi e con la polvere e la miccia, succedono immediatamente ai perforatori per procedere alla carica delle mine; ciò fatto, alla prima volata fanno saltare le mine della breccia, e non applicano il fuoco alle altre se prima la breccia non è aperta; e spesso accade di dover ricaricare delle mine, che nello scoppio non produssero il desiderato effetto. L'opera dei fuochisti è grandemente agevolata da un forte getto d'aria compressa, che si fa irrompere sul fondo della galleria, e scaccia il denso fumo prodotto dalla combustione della polvere.

Finito lo sparo delle mine i fuochisti abbandonano il campo agli sgombratori; questi subentrano spingendo avanti e celeremente dei piccoli vagoni, e mentre l'aria compressa continua a defluire dai condotti, per purgare e rinfrescare l'atmosfera, dagli uni si caricano i frantumi di roccia, mentre dagli altri i piccoli vagoni carichi sono spinti fuori del cantiere d'avanzamento al di là delle porte di sicurezza, ove si lasciano a chi è incaricato di far uscire dalla galleria i detriti, e così si prosegue sino a che tutto il pietrame prodotto dall'esplosione delle mine sia stato esportato; e con questa esportazione finisce il terzo ed ultimo periodo dell'attacco. Allora si prolunga immediatamente il binario maestro di una ruotaia, se è il caso, e l'affusto viene nuovamente sospinto contro la roccia per ricominciare un altro attacco; ma a quest'altro attacco prende parte un nuovo personale, mentre i primi operai, una volta messo dietro le porte l'affusto, e ripulite le macchine, cangiate le une e riparate le altre, e rimesso in buono stato gli accessori, hanno finito il loro compito, ed escono dalla galleria.

Riassumendo le cose dette, si vede che una operazione completa, che noi diremo *muta*, comprende tre distinte operazioni:

1.° La perforazione meccanica;

2.° Lo sparo delle mine;

3.° Lo sgombro delle materie.

Dalla rapidità con la quale si compiono queste tre operazioni dipende in parte la celerità o lentezza nell' avanzamento della piccola galleria; diciamo in parte, perchè, oltre alla prestezza nella perforazione, un' altra condizione si ha a soddifare per raggiungere il massimo avanzamento, ed è, che la profondità dei fori sia la più grande compatibilmente col tempo che si vuol consacrare ad una *muta* intiera; sinora, e per molte e diverse cause derivanti dalle condizioni attuali dei meccanismi, e dalla istruzione dei lavoratori, credemmo utile di limitarci a due *mute* nelle 24 ore, e dare ai fori tutta l'attendibile profondità, senza nulla usurpare del tempo strettamente necessario allo sparo delle mine, ed allo sgombro del pietrame. Questo fu il principio direttivo, che ci fu di guida durante lo scorso anno nella escavazione della piccola galleria; e prima di entrare nella esposizione dei risultati ottenuti, egli è cosa non solo utile, ma necessaria, in questa prima relazione soffermarci alquanto sulle vicende, ostacoli e difficoltà

principali di quella prima applicazione del sistema meccanico di perforazione.

Come già si è notato, l'affusto con poche perforatrici entrava la prima volta in galleria il 12 gennaio 1861, e in questo giorno cominciò la fase, che vuole essere notata come la più difficile di quante avesse ad attraversare l'impresa del perforamento delle alpi. L'ingegnere cavaliere Borelli, direttore locale dei lavori all'imbocco di Bardonnèche, consegnò in una particolareggiata relazione ad uso degli ufficii la memoria delle numerose difficoltà incontrate e vinte, delle cause di ritardo, ecc.

La Direzione tecnica, che fu testimonio oculare di quanto fece questo nostro egregio ingegnere in quei primordi di un lavoro, in cui egli mise e l'ingegno ed ogni sua attività, non rifuggendo dalle più dure fatiche personali di giorno, e di notte, dando a tutti l'esempio dell'energia e del buon volere, non può far meglio, onde far conoscere all'Amministrazione l'andamento di quei primi tentativi, di riferire le parole stesse dell'ingegnere Borelli.

« Non potevasi seriamente pensare ad intraprendere a tutta prima lo
» scavo dell'avanzamento affrontando ad un tratto tutte le difficoltà di un
» lavoro nuovo in tutto e per tutti, e si era disposto perchè venisse lasciata
» intatta una parte dello strozzo della piccola sezione, e sovra di esso
» fu che i primi esperimenti di perforazione vennero praticati. — Si erano
» preparati e condotti a termine nei primi giorni dell'anno 1861 i piccoli
» lavori di adattamento, che ancora restavano a farsi sul carro delle per-
» foratrici, ed assicurati d'altra parte, mediante replicate prove, che ormai
» il lavoro dei compressori si faceva in modo regolare e soddisfacente,
» il 12 gennaio si spingeva in galleria tutto l'apparecchio pel servizio dei
» perforatori, ed il giorno seguente avevano luogo i primi esperimenti. —
» Ben poco si fece in quel dì, chè, intrapresi appena due o tre fori, bisognò
» abbandonarli per la rottura degli scarpelli; nè molto si progredì nei
» due o tre giorni seguenti, nuovi come si era al maneggio delle macchine,
» ed alle manovre dipendenti. — Dopo cinque giorni o sei però comin-
» ciavasi a lavorare assai bene adoperando una sola perforatrice. Due si
» misero in movimento contemporaneamente il 16, ed in sul 20 del mese
» già si era di tanto avanzati da ottenere un primo lavoro utile per lo
» scavo della galleria.

» Come può di leggieri immaginarsi grande era in sui primordi la » confusione, e dessa giunse al colmo allorchè il 26 si volle cominciare » a far agire quattro perforatrici alla volta; gradatamente però il lavoro » andava facendosi più regolare, e tanto che al cader di gennaio se ne » ottenevano già risultati assai soddisfacenti per lo scavo dello strozzo » della piccola galleria.

» Lavorando quattro ore del mattino, ed altrettante nel pomeriggio, si » praticavano ordinariamente da 10 a 12 fori di più che un metro di » profondità per caduna ripresa, e col mezzo di essi si avanzava lo scavo » suaccennato di un metro e mezzo, e sino a due metri al giorno.

» Alli 12 febbraio erano pienamente esportati li 30 metri di strozzo » che si eran lasciati intatti, e le macchine si trovarono di fronte all'attacco » dell'avanzamento.

» A questo punto ben più difficile ed arduo si fece il lavoro; le manovre, » che parevano già molto impedite da prima, qui risultarono in sui primi » giorni quasi impossibili, tanto per la somma angustia del sito, come pel » maggior numero di macchine che bisognava far lavorare e guidare ad » un tempo, e ciò senza dire dell' inesperienza del personale, nè delle » difficoltà stesse inerenti alla qualità delle roccie.

» Di tal modo scorse una decina di giorni senza che si ottenesse alcun » risultato positivo, all' infuori dell'aver messo in chiaro i difetti ai quali » bisognava attribuire parte del ritardo sofferto; per addivenire alle prime » modificazioni suggerite dall'esperienza di questi giorni, alli 22 del mese » si sospese il lavoro, e desso non venne ripreso sino al 2 di marzo.

» Da questo giorno sino alla metà del mese stesso si ha un periodo, » durante il quale si giungeva poco per volta ad organizzare mediocremente » il lavoro, e a conseguire, dopo molti e svariati esperimenti, un qualche » avanzamento.

» Il progresso delle operazioni non si era però ancora fatto regolare, e » mediamente si impiegavano in due giorni differenti da 14 e più ore di » lavoro per eseguire tutti i fori necessari per un' intera sparata, mediante » la quale non si avanzava che di 0. 50 in media.

» Verso la metà del mese, in conseguenza specialmente delle modificazioni » introdotte nella forma de' scarpelli, la perforazione cominciò a compiersi

» con maggiore speditezza e regolarità, e prima della fine di esso mese
» già si era giunti qualche volta ad eseguirla intera in otto o nove ore
» di lavoro, per modo da potersi ultimare nella giornata tutte le operazioni
» occorrenti per un avanzamento di 50 a 60 centimetri.

» L'avanzamento conseguito in tutto il mese di marzo 1861 fu di
» 9.m. e 70 cent.

» Non si fu che alla metà di aprile che, tanto a seguito delle modificazioni
» introdotte, quanto per la pratica grado a grado acquistata dal personale,
» si pervenne a compiere normalmente la perforazione in 8 o 9 ore, con
» che si poteva fare una sparata al giorno con mine di una profondità di 70
» ad 80 centimetri; per tal modo la piccola galleria avanzò in aprile di
» metri 17. 50.

» Più spedito facevasi il lavoro nel mese di maggio, allorchè si ebbe
» completo il materiale per l'impianto delle perforatrici laterali esterne,
» ma in sulla metà del mese, a causa della torbidezza delle acque non
» potendosi far agire i compressori, si sospese il lavoro, e la sospensione
» durò sin verso la fine di giugno, essendo stato necessario tutto quel
» lasso di tempo per scavare, e stabilire il gran serbatoio di epurazione
» destinato a rimuovere per sempre l'ostacolo, che le pioggie, e lo sciogli-
» mento della neve aveva fatto nascere, e che aveva interrotta la compressione
» dell'aria.

» Nel mese di luglio non si lavorava sempre che con una sola muta al
» giorno, e ciò per mancanza del personale necessario; ma le operazioni
» progredivano spedite assai, e non erano rari i casi, in cui tutti i fori
» di 80 e 90 centimetri di profondità venissero praticati in meno di sei
» ore, specialmente quando la roccia non presentava quel carattere di
» eterogeneo miscuglio di quarzo puro, e di calcare scistoso duro, che pur
» troppo si manifesta di continuo.

» Al 19 di agosto si principiò a condurre innanzi il lavoro eziandio
» nella notte, mediante l'organizzazione di una seconda muta. — L'inespe-
» rienza del personale chiamato a formarla fece però sì, che durante i
» principii non se ne ritrasse altro profitto tranne quello d'impratichire
» gli operai. — Onde seguire il lavoro con qualche regolarità si dovette
» ridurre la profondità dei fori a soli centimetri 60, e ad onta di ciò,

» accadendo sovente che non potessero ultimarsi nelle 12 ore tutte le
» operazioni, bisognava ad ogni poco riunire le due mute per rimettersi
» in corrente con l'orario stabilito.

» Poco alla volta si ovviò a simili inconvenienti, i quali in seguito non
» si rinnovarono che nei casi in cui la natura della roccia cangiava in peggio.

» Molto tempo ebbe a trascorrere avanti che il personale si fosse anche
» imperfettamente istruito ed impratichito nelle manovre; avanti che si
» potesse in luoghi così discosti dai centri manifatturieri disporre di quei
» mezzi in materie, utensili ed ordigni, che una prima esperienza aveva
» fatti riconoscere necessari; avanti che la organizzazione del lavoro nei
» suoi essenziali elementi si fosse fatta tale da poterne ritrarre alcun
» notevole beneficio per lo scavo della galleria. Quanto si osserva non
» verrà certamente trovato strano, ove si consideri, che affatto nuovo era
» il lavoro intrapreso, molto era quanto restava a preparare ed ovviare,
» e ciò in mezzo a circostanze molto sfavorevoli di sito e di clima. »

VIII.

Modificazioni alle perforatrici, e necessità di aumentare la produzione dell'aria compressa.

Tra le modificazioni, che l'esperienza dell'anno 1861 e 62 fece riconoscere utile ad introdursi nel materiale di perforazione, la maggior parte richiedevano un tempo non indifferente per la loro attuazione, conciossiachè le officine stabilite a Bardonnèche possono bastare alla manutenzione ordinaria, ma non presentano i mezzi acconci per modificazioni, che in certi casi sono vere costruzioni; si dovette perciò ricorrere a costruttori tanto nazionali, che esteri, per molti lavori e migliorie suggerite dall'esperienza. — Le modificazioni di minor conto si eseguirono nelle nostre officine per la maggior parte, ma le altre, quelle cioè che miravano all'aumento della forza di percussione, dovettero eseguirsi dai costruttori stessi delle perforatrici.

La costruzione di una perforatrice del sistema in uso al traforo delle alpi è un problema molto complesso, che non poteva essere risolto *a priori*, in modo soddisfacente sotto ogni aspetto, nei primi modelli che furono impiegati, l'uno nelli esperimenti della Coscia, l'altro nella galleria delle alpi, dove tuttora trovasi in attività.

Per corrispondere perfettamente allo scopo la perforatrice deve:

1.° Essere di una potenza da raggiungere quella rapidità nella perforazione alla quale si mira;

2.° Essere di un peso, e di un volume tale, che facilmente si possa maneggiare in un sito angusto da due o tre uomini;

3.° Essere automatica in tutti i movimenti che concorrono alla perforazione, onde far senza della cooperazione continua dell'uomo;

4.° Finalmente essere in tal modo congegnata, e con tali materie costrutta, da non richiedere troppo frequenti riparazioni.

A queste quattro condizioni era impossibile soddisfare convenientemente prima che un'esperienza prolungata avesse mostrato su quai punti l'ingegnere avesse a rivolgere più specialmente lo sguardo, ed in tutta la meccanica industriale non si poteva rinvenire un caso analogo, dal quale qualche guida od induzione si fosse potuto trarre.

Solo col senso pratico si fece il primo passo nella perforatrice della Coscia, e gli esperimenti fatti con essa dimostrarono la praticabilità del sistema, e la rapidità della perforazione; ma la forza d'impulsione era soverchia, il peso ed il volume troppo grandi, gli organi troppo numerosi, e non felicemente disposti. Frutto di queste prime prove fu il secondo modello, che lavora oggi a Bardonnèche ed a Modane, e nel quale furono adottate combinazioni radicalmente diverse, e più adatte al genere di lavoro a farsi. Ma in questo secondo modello si cadde in altri difetti opposti, certo minori, ma sempre tali, che l'esperienza di più d'un anno di lavoro ci ha dimostrato, che, ove non si potessero correggere, non si giungerebbe ad ottenere quell'avanzamento, che a tutti oramai pare certo, e che deve notabilmente eccedere quello di 400 metri in circa ottenuto nel 1862 all'imbocco di Bardonnèche.

Quei difetti risiedono nell'insufficienza dell'impulso di percussione, e negli organi di rotazione e d'avanzamento, che sono annessi al cilindro percussore.

L'impulso di percussione si può agevolmente aumentare senza variare il peso delle macchine; ma tale modificazione non è eseguibile con vero vantaggio che nelle perforatrici che avransi a costrurre a nuovo (ed il numero ne è grande). Riguardo al secondo difetto molto già si fece nelle nostre officine, e l'esperienza ha di già mostrata la convenienza di varie modificazioni introdotte, le quali corrisposero assai bene allo scopo di evitare guasti troppo frequenti, e di agevolare tutti i movimenti della macchina. E qui siamo in debito di fare onorevole menzione dello zelo instancabile

col quale l'Ingegnere di sezione di Bardonnèche, il Capo-meccanico, ed il Capo-officina fecero a gara fra di loro per trovare ed introdurre perfezionamenti utili nelle diverse parti delle perforatrici, che mano mano si andavano guastando in galleria, e che, entrate in riparazione, ne uscivano con qualche miglioria dovuta al loro ingegno.

Non vi è per certo in nissuna industria una macchina automatica composta d'organi sì molteplici, e diremo delicati, con tanti movimenti continui ed intermittenti, posta in condizioni così difficili, e che vada soggetta a tante cause di distruzione come la perforatrice. A dare di ciò un'esatta idea basti il notare, che per fare in una muta, ed in buone condizioni di roccia, 8 fori di 80 centimetri di profondità, il cilindro motore compie 57,600 evoluzioni; lo stantuffo percussore batte 57,600 colpi con un impulso di circa 90 chilogrammi, e lo scarpello riceve lo stesso numero di spinte rotatorie. E questi numeri aumentano ancora di molto quando più ribelle si fa la natura della roccia. In quasi tutte le macchine industriali la principale causa di deterioramento proviene dagli attriti d'ogni genere. Nella perforatrice sono gli attriti resi oltre ogni dire più distruttivi dalla polvere quarzosa prodotta dalla perforazione, che si intromette in tutti gli organi, ed havvi di più quell'accennata serie di urti violenti, che formano il carattere distintivo della nostra macchina; il rapido deterioramento di alcune parti di essa non era cosa imprevista; ben ci diceva il senso pratico, che da quel lato avevamo ad imbatterci in difficoltà serie, ma non invincibili. Non si poteva dare agli organi della macchina quella massa, che avrebbe resistito maggiormente all'effetto degli urti, senza renderla troppo pesante, e rinunziare a quell'agevolezza nelle manovre, che è una condizione essenziale del sistema; ci appigliammo a quell'unico partito, che conteneva in sè la vera risoluzione delle difficoltà, e cercammo di dare alle parti esposte all'urto, ed agli altri ostacoli inerenti al genere di lavoro, tale robustezza che, la macchina non oltrepassando un certo peso, fosse atta a rimanere in galleria da otto a dodici giorni, senza dar luogo a riparazioni. Riuscendo in quello intento la questione era risolta, e subentrava l'altra molto più facile del numero totale di perforatrici, che si doveva possedere, affine di potere con un servizio di regolare riparazione tenere dietro ai guasti, ed avere sempre in pronto una scorta di macchine in buono stato. E tale infatti

dovrà essere la condizione normale dei lavori, quando ai due imbocchi si sarà provveduto a tutti i bisogni messi in evidenza dalla prima applicazione fatta a Bardonnèche, e dalla acquistata esperienza; col materiale ora esistente, modificato di mano in mano secondo l'esperienza consigliava, e nel limite dei mezzi delle nostre officine, si può, senza temere interruzioni, proseguire la perforazione, e nello stesso tempo provvedere alla costruzione di un'altra serie di perforatrici, con le migliorie già introdotte nelle esistenti, e con quegli altri perfezionamenti consigliati dall'esperienza, ma che non possono introdursi che in macchine nuove.

Il più o men rapido avanzamento dipende anzi tutto dall'avere le perforatrici convenientemente corrette, ed in numero più che sufficiente, ma dipende altresì ed egualmente dalla quantità d'aria compressa, di cui si può disporre. Sotto questo riguardo, tanto a Bardonnèche, quanto a Modane, ci troviamo in una condizione inferiore ai bisogni presenti, ed affatto insufficiente ai bisogni che prima di un anno e mezzo si manifesteranno con l'allungarsi della galleria.

L'aria compressa serve alla perforazione ed alla ventilazione; la ventilazione o si procura immediatamente con getti d'aria compressa diretti nei siti che si vogliono purgare dal fumo e dai gaz, oppure facendo agire l'aria compressa come forza motrice in macchine ventilatrici. Comunque si impieghi, l'esperienza ci fece vedere, che pel buon andamento dei lavori havvene bisogno d'una quantità ben maggiore di quella che da prima e da tutti era stata stimata sufficiente, e tanto a Bardonnèche, che a Modane, la produzione corrisponde a stento ai bisogni presenti, ed è certo che, ove si avesse potuto aumentarla, un sensibile guadagno si sarebbe ricavato nello avanzamento. In un prossimo futuro quella produzione dovrà essere più che duplicata, e quadruplicata la capacità dei serbatoi, e questa è condizione vitale per ottenere un più rapido progresso nella perforazione. In previdenza di ciò, nel derivare la forza idraulica ai due imbocchi, si disposero le cose in modo da soddisfare ai bisogni che potevano sopraggiungere; e la nuova e semplice foggia di compressori, che funziona da cinque anni nel Belgio, e da un anno a Modane, con tutto il desiderabile successo, ci permetterà di triplicare la produzione dell'aria con una spesa di molto inferiore a quella fatta pel primo sistema di compressori a colonna.

I relativi meccanismi sono di già in corso di costruzione, e nell'anno corrente avremo assicurato dal lato della produzione dell'aria l'avvenire dei lavori.

Parrebbe essere quì luogo di parlare della ventilazione, ma amando meglio di continuare le nostre osservazioni sulla perforazione, parleremo di ciò minutamente più oltre.

IX.

Specchio analitico delle operazioni

degli anni 1861-62.

Abbiamo finora passato in rassegna la serie dei lavori eseguiti, e specialmente discorso di quanto si fece a Bardonnèche riguardo alla compressione dell'aria, ed alla prima applicazione della perforazione meccanica; abbiamo per sommi capi toccato delle numerose difficoltà incontrate in ciascuno degli elementi principali del sistema; rimane ora, per convalidare le parole coi fatti, a riassumere e porre sott'occhio in uno specchio analitico le operazioni nelle quali si consumarono gli anni 1861-62.

Nell'anno 1861, nel quale si fece la prima applicazione delle perforatrici, si ebbero:

Giorni in cui il lavoro di perforazione fu interamente sospeso per lavori preparatorii o per sconci avvenuti all' infuori od all' interno della galleria 120

Giorni impiegati negli esperimenti senza alcun utile per l'avanzamento 36

Totale . . . 156

Riporto		156
Giorni di lavoro con una sola muta nelle 24 ore, le operazioni facendosi ancora poco regolarmente	31	
Giorni nei quali il lavoro, sempre con una sola muta, si mantenne regolare	76	
Giorni di lavoro con due mute ad interruzioni dovute a cause varie	46	
Giorni di lavoro con due mute, e senza interruzioni . .	56	
Totale dei giorni di lavoro	209	209
Totale giorni dell'anno		365

L'avanzamento ottenuto nell'anno 1861 fu di metri 170, 54; questo risultato, riferito all'intiero anno, dà un avanzamento giornaliero medio di $\frac{170\ 54}{365} = 0^{m\cdot}\ 467$; riferito invece ai soli giorni di lavoro utile dà un avanzamento di $\frac{170\ 54}{209} = 0^{m\cdot}\ 81$ per giorno.

Nell'anno 1862 essendosi il lavoro fatto abbastanza regolare, si tenne un registro delle operazioni giornaliere, notandovi tutto quanto aveva tratto al lavoro ed alle circostanze contrarie che talvolta lo rallentarono. Ricaveremo da esso un sunto esatto dei fatti essenziali, che si produssero, e dai quali qualche insegnamento può desumersi:

Giorni d'interruzione per causa di prolungamento dei condotti	9	
Per guasti ai compressori	3	
Per cause non specificate	2	
Per causa d'un franamento in galleria	11	
Giorni festivi	7	
Totale . . .	32	
Vi furono inoltre 46 giorni, in cui la sospensione della perforazione durò poche ore, ma talvolta impedì di poter fare le due mute nelle 24 ore; stimiamo che il totale possa giungere ad equivalere a giorni perduti	8	
Totale dei giorni perduti . . .	40	40
Giorni utili		325
Totale giorni dell'anno		365

Nelli 325 giorni utili si ebbero 582 mute, con le quali si ottenne un avanzamento totale di metri 380.

La perforazione prese . . . . 4443 ore.

Lo scoppio delle mine . . . . 2029 ore.

Lo sgombro delle materie . . . . 1502 ore.

Totale delle ore di lavoro utile 7974

Il numero dei fori, fatti con una profondità tra metri 0. 75 e 0. 80, fu di 45751.

Il numero delle perforatrici cambiate durante il lavoro fu di 1188.

Il numero delli scalpelli usati 72538.

La polvere consumata fu di chil. 18622, 45.

La lunghezza della miccia fu di metri lin. 76510.

L'avanzamento medio fu per ogni giorno di lavoro $\frac{380}{325} = 1^{m.}\ 17$, e per ogni giorno dell'anno $\frac{380}{365} = 1^{m.}\ 04$.

La durata media d'una muta fu, per la perforazione, di ore 7, 39 minuti.

Per la carica e scoppio delle mine 3° 29 m.
Per lo sgombro delle materie . . . 2 33 m. } 6 ore, 2 minuti.

Per ogni muta si cambiarono in media due perforatrici, e si usarono 125 scalpelli.

Questi dati, accuratamente registrati lungo l'anno 1862, danno luogo ad osservazioni, sulle quali non sarà inutile di soffermarci alquanto.

1.° Il numero delle mute, ove se ne fossero fatte regolarmente due al giorno, sarebbe stato di 325 × 2 = ... 650

Ne ebbimo invece solo 582

Con una differenza in meno di 78

Nelle tre operazioni, che compongono una muta, cioè la perforazione, lo sparo delle mine, e lo sgombro delle materie, si consumarono in media 13 ore e 41 minuti; ciò spiega il perchè non si ebbero regolarmente le due mute per ciascun giorno di 24 ore.

Le variazioni sono dovute quasi totalmente alle varie vicende della

perforazione meccanica; lo sparo delle mine, e lo sgombro dei frantumi di roccia essendosi generalmente mantenuti in limiti poco discosti da una media di sei ore.

La perforazione al contrario variò, riguardo al tempo, dall'uno al due, così che essa ben soventi si terminò in meno di sei ore, mentre in essa si consumarono per lo più dalle sette alle otto ore, e talvolta, ma di rado, fin dieci ore, e qualche muta fu perfino di quattordici.

La durata soverchia della perforazione è dovuta in parte alle imperfezioni attuali delle perforatrici, ed ai guasti di cui già abbiamo discorso; all'istruzione ancora imperfetta degli operai; alla novità insomma di tutto il sistema, ma principalmente vuole essere attribuita alla natura della roccia. La roccia all'imbocco sud presentò alla perforazione due ostacoli principali del carattere il più malagevole: un' infelice stratificazione, ed una eterogeneità più infelice ancora.

Dal principio dei lavori sino ad oggi si sono confermate le indicazioni generali date da diversi chiarissimi geologi, e specialmente dall' illustre nostro Sismonda, sulla natura e giacitura dei terreni, che la galleria ha da attraversare; ma quando si discende dalle altezze della scienza, che, abbracciando in un solo sguardo la catena delle alpi, ha in mira di definire le leggi secondo le quali si formarono e si succedono le roccie, e si viene a puntare lo scalpello d'una perforatrice in uno spazio quasi impercettibile della grande massa, con l'obbligo di scavare un foro microscopico al paragone, ed in una direzione determinata ed invariabile, la questione scientifica sparisce, e l'ingegnere trovasi a fronte d'un problema pratico, riguardo al quale le viste generali non gli porgono verun soccorso.

Parlando noi delle difficoltà pratiche incontrate, non entreremo in considerazioni estranee al nostro compito, limitandoci a quanto vi si riferisce, e diremo in poche parole, che la roccia, per quanto interessa la perforazione, è generalmente molto ribelle. Essa è di natura calcare-scistosa cristallina (Sismonda), questo è il carattere generale; se noi ci facciamo a considerare la superficie della sezione d'attacco sulla quale si lavora, vediamo che essa è spartita in mille direzioni da strati bianchi e neri alternati, di grossezza molto variabile, contorti, avvolti, piegati e ripiegati in ogni senso e in ogni maniera; vediamo che gli strati bianchi, i quali sono di quarzo

puro, non presentano verun carattere di regolarità, nè in direzione, nè in grossezza; ora si dividono in sottili rami, che terminano ne' strati successivi in tutte le direzioni, ora si allargano e si ingrossano in mucchi d'ogni forma e volume.

In una roccia così fatta la perforazione è molto difficile a causa della ineguale resistenza che presentano agli scarpelli gli strati di calcare-scistoso cristallino, e gli strati di quarzo; non è raro il caso in cui un foro spinto sino alla metà, e ai tre quarti della sua lunghezza, deve essere abbandonato per l'incontro d'un getto di quarzo posto in sbieco, e sul quale lo scarpello viene deviato dalla sua normale direzione; quando il lavoro può proseguirsi, ed il foro ultimarsi, la continuazione è tuttavia resa molto stentata da questa causa; ed è allora che le mute si prolungano in modo, che sulle 24 ore diventa impossibile il farne due.

Osserveremo, che non sempre la roccia presenta a tal segno quel carattere di eterogeneità; ai tratti più difficili succedono tratti molto migliori, ed in questi la perforazione si fa più spedita, e si termina in meno di sei ore; quel succedersi dei banchi più o meno alterati da infiltrazioni quarzose fu osservato fin dal principio, ma ultimamente si constatò una maggior abbondanza di quarzo ed una minima frequenza dei tratti buoni, e pure l'avanzamento non ebbe a soffrire maggiori ritardi negli ultimi mesi in paragone dei primi, in cui le circostanze erano più favorevoli, guadagnandosi dal lato della crescente abilità delli operai quanto si doveva concedere alle cresciute difficoltà della roccia. Se poi si concepisse qualche timore per l'avvenire, diremo, per rimuoverlo, che condizioni peggiori di quelle ormai attraversate difficilmente si possono incontrare, poichè in quelle dominava in alto grado quel carattere di eterogeneità, che è il più temibile fra tutti. Crescendo invece la quantità del quarzo, crescerà la durezza relativa, ma nello stesso tempo diminuirà quella confusione di strati sottili, più o meno duri, che tanto rallenta il lavoro delli scarpelli, impedendo che si compia regolarmente la rotazione di essi, e l'avanzamento rettilineo, mentre la sola durezza della roccia influisce bensì sulla rapidità della perforazione, ma ne favorisce singolarmente l'andamento a segno, che i vantaggi relativi della perforazione vieppiù crescono a misura che più dura si fa la roccia. Qualunque possa essere più oltre la natura del sasso, argomentando da quanto

si è fatto, e dai miglioramenti che si è in via di introdurre nei meccanismi, dalla pratica degli operai, che si fa ogni dì maggiore, dalla quantità d'aria compressa, che si potrà disporre in più, dal tempo che si guadagnerà sullo sparo delle mine e sullo sgombro delle materie, siamo certi che, ben lungi dal veder diminuire l'avanzamento medio in quest'anno e nei seguenti, lo vedremo invece gradatamente aumentare. Diremo di più, che dalla parte di Modane la roccia è bensì durissima, ma omogenea, e perciò fin dai primi giorni vi si ottennero risultati molto soddisfacenti, come si vedrà quando faremo parola dell'imbocco nord.

2.° Le macchine cambiate furono in media di due per muta. La macchina si cambia ogni qual volta si manifesta o un guasto, od un andamento non soddisfacente degli organi.

La perforatrice rimossa è immediatamente surrogata con un'altra di riserva; talvolta si compiono nella galleria i piccoli aggiustamenti occorrenti, ma per lo più si eseguiscono in una piccola officina stabilita per le minute riparazioni all'imbocco stesso della galleria; le riparazioni di maggior conto si eseguiscono nelle grandi officine.

Il cambiamento di macchina è una causa di perdita di tempo, e contribuisce per una parte al prolungamento delle mute; gli effetti ne verranno pressochè annullati quando avremo corretto i difetti maggiori delle perforatrici, e messo in attività un affusto, che meglio si presti alle manovre.

3.° Una frazione di tempo viene consumata nel prolungare il binario su cui scorre l'affusto; il prolungamento ha luogo sempre che l'avanzamento abbia progredito da metri 2 a metri 2 e 50 centimetri. Il servizio delle condotte d'aria, d'acqua e del gaz richiede parimenti di quando in quando qualche sospensione, e, per breve che sia, contribuisce ad accrescere la somma del tempo a discapito di quello strettamente necessario per compiere una muta.

L'armamento della piccola galleria, reso indispensabile dai casi avvenuti di sassi staccatisi dal cielo della galleria, e caduti sui meccanismi, richiede pur esso un qualche lasso di tempo. — Tutte queste varie cause, benchè in sè di poco momento, producono dei ritardi, principalmente quando s'incontrano colle difficoltà della roccia, e tutte assieme spiegano come non si abbia potuto ottenere un numero di mute esattamente il doppio delle

giornate di lavoro. I registri del lavoro poi dimostrano come tali inconvenienti vadino scemando coll'impratichirsi degli operai.

Nei cinque ultimi mesi dell'anno 1861, in cui la perforazione cominciò a farsi più regolare, si ebbero 171 mute su 116 giorni di lavoro utile; il rapporto è $\frac{171}{116} = 1.47$; nel 1862 invece quel rapporto è $\frac{582}{325} = 1.78$.

Il limite, al quale si tende, è di aver prima due mute regolarmente per ogni giorno; ottenuto questo primo scopo, si tenterà di farne tre, raccorciando ad un tempo la durata di ciascuna, e la profondità dell'attacco; e potendosi anche ottenere un maggior avanzamento con due mute, solo aumentando la profondità dei fori, si avrà allora a giudicare quale dei due modi, per due, o per tre mute sarà più conveniente all'uopo.

X.

Deterioramento delle perforatrici, e necessità di rinnovarle.

Abbiamo detto che nel 1861 si erano ottenuti colle macchine 170 metri di avanzamento con 20,000 fori all'incirca; il numero dei fori fatti nel 1862 fu di 46,000 in cifre tonde; ciò dà un totale di 66,000 fori nel tempo in cui se ne potè tenere la registrazione esatta; ma un altro numero di almeno 6000 se ne era fatto durante gli esperimenti preliminari; sono così 72,000 fori da mina, della profondità da 75 ad 80 centimetri, da ripartirsi su 80 perforatrici, che furono impiegate in quel servizio; dal che risulterebbe una media di 900 fori per ogni macchina; ma è da notarsi, che quel lavoro è ben lungi dall'essere stato fatto in questa proporzione media, perchè vi sono perforatrici, che hanno lavorato tre o quattro volte più delle altre, e sono in uno stato di deterioramento proporzionalmente più avanzato; ma in linea di economia tecnica riterremo la media di 900 fori per caduna perforatrice.

Desumendo dagli altri dati su accennati il tempo medio per iscavare un foro, avremo che in una muta, nella quale lavorano continuamente otto macchine fra le nove che porta l'affusto, queste fanno 80 fori nella media durata di 7 ore e 39 minuti; ciascuna impiega adunque 7 ore, 39 min. per fare 10 fori, ossia $^3/_4$ d' ora all'incirca per ogni foro.

In tre quarti d'ora ogni macchina battendo tre colpi per minuto secondo farà 8100 evoluzioni complete, e darà 8100 colpi di scarpello per scavare un foro. I 900 fori fatti in media negli anni 1861-62 dànno per ciascuna perforatrice 8100 × 900 = 7,290,000 violenti percosse sotto un impulso d'aria compressa di 90 chilogrammi.

Diamo queste cifre non come ozioso documento di mera curiosità, ma quale evidente spiegazione del pronto deterioramento delle perforatrici, e per prevenire ogni rincrescevole apprensione sulla spesa, che sarà cagionata dalla riparazione e dal rinnovamento di esse; argomentando dalli 550 metri d'avanzamento scavati con le prime ottanta perforatrici ancora imperfette, che oramai sono logore, scassinate, e ben tosto fuori servizio, si può congetturare che, alla peggio, non si consumeranno più di 2000 perforatrici per iscavare li 10 chilometri che ancora rimangono.

Potrà darsi però, che ogni convenienza risieda nell'appigliarsi al partito, che senza dubbio sarebbe il più conveniente, quello cioè di non cercare di trarre dalle perforatrici quell'utile, che nelle industrie stabili si compone dell'elemento del lavoro fatto, combinato con la durata della macchina, e di unicamente mirare ad avere ottime macchine per affrettare il compimento dell'opera, avvegnachè il perforamento delle alpi è un lavoro di distruzione, nel quale si deve con certi mezzi frantumare un volume di roccia di oltre 600,000 metri cubi, rinchiuso nelle viscere delle alpi; ma quel lavoro deve congiungere fra loro specialmente due nazioni, che contano un totale di 60 milioni di abitanti.

E l'Amministrazione, oltre al grande scopo dell'opera, ha anche da guadagnare il premio d'acceleramento stabilito dal Governo francese, premio che servirà al rimborso d'una parte delle spese, e che crescerà in proporzione inversa del tempo impiegato a scavare la galleria. — Ne risulta di qui la convenienza di mirare sovrattutto ad avere sempre delle macchine in ottimo stato, e in numero considerevole; e quando le medesime giungono a quel grado di deterioramento, in cui le riparazioni, oltre al costare assai, non le restituirebbero in uno stato tale da poterne sperare un uso lungo, nè una sufficiente rapidità di perforazione, di surrogarle con delle nuove. — Rimarrebbe ora a calcolarsi quanto si spenderebbe di più in danaro per ottenere un maggior avanzamento; non ci soffermeremo a fare questo calcolo;

noteremo invece, che per quanto breve sia il tempo guadagnato, non fosse che di sei mesi, è facile lo scorgere come l'incremento della spesa sparisca a fronte dei vantaggi d'ogni specie, che immediatamente risulteranno per Italia e Francia, ambedue vivamente interessate pei frutti, come per le spese, ad una pronta apertura delle alpi.

Altre considerazioni meno generali hanno da emergere dalle cose sin'ora dette intorno alla perforazione, ma esse troveranno più conveniente luogo accanto ai progetti, che la Direzione tecnica ha preparato, e che sottoporrà alla superiore approvazione onde poter dar un più energico, e dopo l'acquistata esperienza, anche più sicuro impulso all'impresa, progetti, che tutti hanno per iscopo di rimediare agli inconvenienti incontrati, di correggere quelle parti secondarie delle macchine, le quali fecero all'uso men buona prova, di provvedere ad un aumento notabile d'aria compressa, e fare un utile impiego delle forze motrici, che in una giusta previsione del futuro si tennero in riserbo; miglioramenti questi, che possono in meno di dieci mesi essere condotti a termine.

XI.

Aria compressa

considerata come forza motrice, e come mezzo di ventilazione; necessità di aumentare questa; diminuzione di tensione nei condotti.

Ritornando ora a parlare dei compressori, noteremo che la produzione dell'aria compressa ebbe luogo sempre con la desiderabile regolarità, abbenchè si sieno verificate replicate sospensioni nella perforazione *per mancanza d'aria in galleria;* ma essendo state queste sospensioni di poca durata, e dovute a cause affatto accidentali, non le avremmo registrate se l'esperienza non ci avesse addimostrato che esse erano un avvertimento da non trascurarsi.

Di fatto la sospensione per mancanza d'aria, sia come forza motrice, sia come mezzo di ventilazione, non possono evitarsi se non con accrescere ad un tempo la produzione dell'aria e la capacità dei serbatoi. — Della necessità di ciò fare l'esperienza del 1862 ci fece persuasi, ed essa crescerà quanto più avanzeremo verso il centro della montagna.

La maggior quantità d'aria compressa ci procurerà il doppio vantaggio di guadagnare sul tempo che ora si spende per cacciare il fumo dopo le esplosioni, che è in proporzione inversa dei mezzi di cui disponiamo, e di trar maggior profitto dalla mano d'opera.

Dobbiamo porci in grado di produrre a volontà su qualunque punto dei lavori, e ad ogni istante, non un semplice getto d'aria compressa, come si pratica al presente, ma vere correnti che in pochi minuti purghino i cantieri

dal fumo e dai gaz; dobbiamo inoltre disporre perchè e il fumo, e il gaz, e i vapori sieno condotti fuori dalla galleria, e fare in modo, che l'aria pura entri naturalmente in questa, e subentri all'aria viziata espulsa senza mescolarsi troppo con questa.

Delle macchine ventilatrici, semplicissime dall'un canto, e dall'altro la forza disponibile in aria compressa, che sopravanzerà al consumo fatto nella perforazione, e la forza idraulica, che sta in riserva al di fuori, ci permetteranno fra poco di mandare in fondo alla galleria un volume di 400 a 500 mila metri cubi d'aria atmosferica al giorno, e 8 a 10 mila metri cubi d'aria compressa a 6 atmosfere nei cantieri inaccessibili all'ordinaria ventilazione. Con questi mezzi non solo la salute degli operai sarà guarentita (chè lo è di già ora con una quantità d'aria incomparabilmente minore), ma i lavori per rispetto alla ventilazione diverranno d'una agevolezza tale, che poco maggiore sarebbe se essi si compissero a cielo aperto.

La produzione dell'aria compressa a Bardonnèche fu nell'anno 1862 in media mensilmente di 117,000 metri cubi a 6 atmosfere assolute, e nell'anno intiero fu di metri cubi 1,404,000, che rappresentano un volume d'aria atmosferica ordinaria di metri cubi 8,424,000.

Quest'enorme quantità d'aria compressa fu impiegata: 1.° nelle macchine motrici, che conducono le valvole dei compressori; 2.° in macchine motrici annesse a ventole; 3.° alla ventilazione della galleria d'avanzamento; 4.° alla perforazione. Sarebbe desiderabile conoscere quanta aria compressa si adoperò in media in una muta per iscavare 80 fori da mina della profondità da 75 ad 80 centimetri. La necessità di far lavorare i compressori mentre lavorano le perforatrici, la difficoltà di accertare la vera quantità d'aria utilizzata in galleria, e sovrattutto la molteplicità di serie cure inerenti ad un servizio nuovo, e ne'suoi primordi, ci hanno costretti a rimandare ad altri tempi li studi puramente tecnici; possiamo però dedurre da esperimenti fatti nelle officine pel consumo d'aria nella perforatrice, che in istato ordinario di lavoro essa spende 3 litri d'aria compressa al secondo, di modo che le nove macchine, che lavorano ad una volta in galleria, spenderebbero 27 litri al minuto secondo, ossia 97 metri cubi all'ora.

L'aria prodotta fu quasi interamente consumata nel cantiere d'avanzamento, tanto come forza motrice, quanto come mezzo di ventilazione. La

produzione giornaliera media essendo stata di 3900 metri cubi, ne risulta che ogni giorno furono introdotti nella piccola galleria circa 3900 × 6 = 23,400 metri cubi d'aria atmosferica pura.

Il cantiere d'avanzamento avendo una lunghezza media di 150 metri, ed una sezione di circa 9 metri quadrati, ne risulta che il volume d'aria pura giornalmente introdottavi è 17 volte maggiore della capacità della galleria stessa, e ciò spiega come molte volte in uno spazio così ristretto, dove già stanno di continuo a lavorare quasi 40 operai, e dove ardono da 30 a 40 lumi, numerose comitive di persone distinte, tra le quali delicatissime signore, abbiano potuto soffermarsi a lungo senza menomamente accorgersi di qualunque causa d'incomodo nell'aria, all'infuori di una temperatura un po' più elevata che all'esterno; non ne fu per niente incomodata la graziosissima principessa Maria Pia di Savoia, la quale, visitando i lavori mentre la perforazione era in piena attività, si trattenne buon pezzo di tempo nell'imo fondo della galleria attorno all'affusto e in mezzo alle perforatrici.

Abbiamo creduto dover parlare della ventilazione, perchè l'asfissia degli operai era fra gli infausti vaticinii che si opponevano alla progettata opera.

Forse si obbietterà, che avrà a verificarsi più oltre; rispondiamo tosto, che oggi con 23 mila metri cubi d'aria a 1400 metri dalla bocca, ogni pericolo è non solo rimosso, ma anzi l'arte del minatore è divenuta molto più salubre, come venne constatato dal dottor Peyrone, medico a Bardonneche: più oltre a 2, 3, 4, 5 e 6 chilometri non manderemo più i soli 23 mila metri cubi d'aria al giorno, ma arriveremo a mandarne 600 mila, ed un milione anche ove occorra. Le induzioni, che si traggono da tali fatti e da tali cifre, sono verità incontestabili, ed a buon diritto il problema della ventilazione può dirsi risolto e ora, e in avvenire, perchè appunto fin d'ora si sta provvedendo ai bisogni dell'avvenire coll'aumentare i mezzi della produzione dell'aria.

Due altri dubbi erano insorti nella mente di molti, e parevano tanto più fondati, che erano stati più volte corroborati dalla esplicita adesione di persone, alla opinione delle quali una gran fama, giustamente acquistata nelle scienze positive, accresceva il peso in modo inquietante per quelli che non la dividevano, e s'andava obbiettando:

1.° Si comprimerà l'aria, ma non si potranno costrurre recipienti ermetici per impedirne la dispersione; essa sfuggirà attraverso le unioni le più accuratamente lavorate, e forse anche trapelerà tra i pori del ferro fuso. — Ora l'esperienza di oltre un anno ha dimostrato, che nè l'una, nè l'altra di queste due apprensioni erano fondate. — E ciò si poteva prevedere, poichè se il vapore, che è meno denso, alla pressione ordinaria a cui si porta nell'industria sta perfettamente rinchiuso nelle caldaie e nei condotti di ferro fuso soggetti all'influenza del calore, ciò si verificherà tanto più per l'aria che, compressa, è più densa e non è scaldata. — A Bardonnèche si ebbe occasione di lasciare i recipienti pieni d'aria compressa durante 24 giorni di seguito; la perdita fu così insensibile, che, ragguagliata alla produzione giornaliera, essa riuscì al di sotto di $\frac{1}{5000}$ della produzione stessa. — Nel gran condotto le perdite si esplorarono con un lumicino, ma non fu possibile rinvenirne una sola sopra una lunghezza di 2000 metri.

2.° L'aria compressa trasportata a grandi distanze perderà tanta parte della sua pressione, che riescirà impossibile il servirsene come di forza motrice, a meno che non si comprima a pressioni altissime; e la compressione ad un altissimo grado diventava un problema pericoloso e costoso al punto di vista industriale. — Anche qui l'esperienza ha risposto con fatti vittoriosi ai dubbi teoretici. — Non si fecero prove dirette e scientifiche per accertare sino a qual punto diminuisca la pressione dell'aria crescendo la lunghezza dei condotti, perchè difettava ogni mezzo per far studi accurati in proposito; ma si poterono raccogliere dati in quella misura di esattezza che interessa l'opera, e si trovò, ogni volta che venne ripetuta la prova, che un manometro Bourdon, graduato di decimo in decimo di atmosfera, verificato riguardo alla sensibilità, e posto sulla estremità del condotto in galleria alla distanza di oltre 1800 metri dai recipienti, non si moveva nè molto nè poco mentre lavoravano tutte nove le perforatrici ad una volta. — Ciò significa che, durante la perforazione, la perdita di pressione nel condotto maestro non è misurabile con un manometro che segni solo i decimi d'atmosfera, e che finalmente tale perdita è appunto al dissotto di $\frac{1}{10}$ di atmosfera, cioè di $\frac{1}{60}$ della pressione all'origine. — Con ciò non si vuol già dire che sia nulla, e che non s' accresca coll'andar più oltre. — Ma disponendo di due condotti, e della facoltà di aumentare la

pressione all'origine, possiamo asserire, con la fiducia che dànno i fatti, che al centro del *tunnel*, a 7000 metri dai recipienti, si manterrà alla tensione di sei atmosfere assolute a un di presso. — E qui è debito nostro di riferire come tale risultato pratico corrisponda con la tavola calcolata dalla Commissione governativa per gli esperimenti della Coscia sulla perdita di pressione nei lunghi condotti. Da questa tavola ricaviamo, che un condotto di 0,20 di diametro, l'aria essendo a sei atmosfere nel recipiente e la velocità all'origine del condotto di 1.tro al minuto secondo, l'aria compressa perderebbe per ogni chilometro una parte della sua pressione, misurata da una colonna di mercurio di 3 millimetri d' altezza ; si avrebbe dunque sul primo chilometro una perdita misurata da 3 millimetri di mercurio. La perdita sarebbe del doppio per due chilometri, cioè sarebbe misurata da sei millimetri. Ragguagliando questa perdita all'atmosfera, essa sarebbe rappresentata da $\frac{6}{760} = \frac{1}{127}$ circa.

Ora nell'attuale condotto di Bardonnèche, del diametro di 0,20, e lungo appunto di circa 2,000, la velocità all'origine essendo di un metro, il volume dell'aria compressa dato dall'efflusso è di litri 31, 415. — Abbiamo detto superiormente, che mentre le nove perforatrici lavorano ad un tempo consumano a un di presso 27 litri per secondo. La perdita di pressione all'estremità del condotto è adunque inferiore ad $\frac{1}{127}$ di atmosfera, poichè la velocità all'origine, che dà 27 litri, è certamente minore di quella di 1.tro alla quale corrisponde un efflusso di litri 31, 415. E così trovasi spiegato come un manometro Bourdon, graduato a decimi d'atmosfera, rimanga insensibile a così tenue perdita di pressione.

Ad una distanza di 7 chilometri, quando saremo giunti alla metà della galleria, la perdita sarà rappresentata da $3 \times 7 = 21$ mill. di mercurio, ossia $\frac{21}{760}$ eguale a meno di 3 centesimi di atmosfera ; e, stando sempre ai risultati consegnati nella tavola citata, il manometro comincierebbe solo a segnare una perdita di $\frac{1}{10}$ di atmosfera alla distanza di 25 chilometri dall'origine.

Un' ultima considerazione abbiamo ancora a fare sulla compressione dell'aria, la quale, a vero dire, forse più interessa la scienza fisica, che la pratica applicabilità del sistema di compressione. Comprimendo l' aria, questa abbandona una parte del suo calorico latente, che si fa sensibile e si diffonde nel mezzo circostante. Noi manchiamo di dati per giudicare del

grado d' influenza, che questo fatto immancabilmente esercita sul lavoro motore, che opera la compressione; possiamo dire per altro, che industrialmente parlando essa è di una importanza tanto tenue da riescire completamente trascurabile; tuttavia nelle nostre previsioni nel valutare le forze, di cui hassi a disporre per produrre un determinato quantitativo d' aria compressa, essendoci basati sempre sui dati esperimentali forniti dall'effetto compiuto della compressione, abbiamo anche fatto la parte alle resistenze, che da questo fenomeno si producono, e possiamo rimandare più oltre l'accurato studio, che di esso ci riserviamo di fare in avvenire. Frattanto non possiamo a meno di accennare, che il fatto della produzione del calorico nella compressione dell'aria dando luogo al fenomeno inverso allorchè l'aria ripiglia il primitivo volume, questo secondo fatto riesce per noi sommamente vantaggioso.

L'aria affluendo in fondo alla galleria alla tensione di 6 atmosfere, nel ripigliare la tensione dell' aria ordinaria dilatandosi, assorbe dal mezzo circostante l'istessa quantità di calorico, che aveva emesso all'atto della compressione, e quest' assorbimento di calorico tende a far abbassare la temperatura della galleria, e a mantenerla così più fresca, mentre si trova elevata assai e naturalmente, e per la presenza degli operai, e per la combustione delle lampade, e dei becchi a gaz.

XII.

Applicazione dell'aria compressa alle varie industrie.

La condotta dell'aria compressa a grandi distanze, allorchè per operare la compressione si possono utilizzare le forze idrauliche, è una questione industriale del massimo interesse; ma finora essa fu enunciata, e non mai risolta, perchè non si avevano i mezzi di comprimere l' aria industrialmente a qualunque pressione, e in quantità come si voglia grande.

L'esperimento fatto sulle alpi in così vasta scala è un primo successo che deve eccitare gli ingegneri, principalmente d'Italia, paese cotanto ricco di forza idraulica, ad occuparsi della questione. Perciò abbiamo creduto, che in questa relazione, non ostante il suo carattere speciale, non sarebbe fuor di proposito l'accennare ad altre applicazioni industriali, e diamo, a mo' di digressione e come di volo, un esempio scelto tra mille, ed in condizioni delle più sfavorevoli.

Volendo rimanere in quei limiti di distanza e di diametro nel condotto nei quali gli esperimenti della compressione, confermati dalla pratica applicazione di Bardonnèche, dànno piena sicurtà di non errare, supporremo che con un tubo di 30 centimetri di diametro si voglia condurre una forza in aria compressa alla distanza di 20 chilometri. — Il condotto una volta in opera può servire al trasporto di una forza doppia, tripla,

quadrupla, ecc., purchè all'origine si procuri all'aria una velocità di efflusso crescente nella stessa proporzione. — All'origine del condotto si comprime l'aria; al termine, o lunghesso, l'aria è derivata per servire come forza motrice; la quantità d'aria disponibile al termine del condotto è proporzionale alla velocità dell'efflusso all'origine, e questa dipenderà dal grado di tensione a cui si costiperà l'aria dalle macchine comprimenti. — Supporremo che la forza idraulica sia relativamente illimitata, e così potendosi accrescere a piacimento il grado di compressione, si potrà con eguale facilità o accrescere la forza trasportata lungo una distanza determinata, o condurre una forza determinata e costante in un tubo di un dato diametro, e di lunghezza variabile.

Ritorniamo al nostro esempio: all'origine del condotto di 20 chilometri sono stabilite macchine comprimenti mosse dall'acqua, le quali, per la supposta abbondanza della forza idraulica, possono comprimere l'aria a qualsiasi tensione, non esagerata, cioè a dire dalle 6 alle 10 o 12 atmosfere, ed in quantità pure variabili in larghi limiti. — Stabilito tutto il sistema, e stimata la forza condotta in cavalli dinamici di 75 chilogrametri, tanto maggior frutto si trarrà dalla spesa d'impianto, quanto maggiore sarà il numero dei cavalli disponibili all'origine del condotto; per le condotte d'aria a grandi distanze la spesa maggiore sarà quella del condotto in ferro fuso. — Nel caso scelto il tubo di 30 centimetri di diametro costerebbe (all'infuori dei trasporti e del collocamento in opera) 800,000 lire per 20 chilometri di lunghezza. — Vediamo ora come si ripartirebbe questa spesa per cavallo di forza in aria compressa, disponibile alla distanza di 20 chilometri, con una pressione di sei atmosfere assolute.

Un litro d'aria compressa a 6 atmosfere, secondo la legge di Mariotte, contiene in sè un lavoro teorico di 110 chilogrametri. — In un tubo di 30 centimetri di diametro, con una velocità di 6 metri al secondo all'origine, si avrà un efflusso di 424 litri, i quali contengono 46,640 chilogrametri, pari a 622 cavalli dinamici. Per ottenere questo risultato è necessario che sia la velocità all'origine di 6 metri al secondo; con tale velocità, e per una distanza di 20 chilometri, sarà la perdita di pressione, giusta la tavola della Commissione, 20 volte 78 millimetri di mercurio, ossia di $\frac{1560}{760} = 2,05$ atmosfere; basterà adunque spingere la compressione dell'aria

ad 8, 05 atmosfere per compensare le perdite dovute alla distanza, e per avere alla fine le 6 atmosfere assolute.

Gli interessi del costo dei tubi calcolati al 6 °/₀ darebbero L. 48,000 all'anno, se si ammette che li 622 cavalli dinamici si riducano al 60 °/₀ in cavalli utili, ossia a 373, pei quali il costo annuo sarebbe di 48,000, e per ciascuno il costo riesce $\frac{48,000}{373}$ eguale in cifre tonde a 128 lire all'anno, e per un lavoro continuo di 24 ore al giorno. Un cavallo vapore consuma per un simile lavoro non meno di 21 tonn. di carbone fossile all'anno; con questo dato, conforme all'esperienza industriale, si potrebbero fare interessanti confronti tra il costo della forza in vapore, nei diversi paesi industriali, e la forza in aria compressa, che si potrebbe trarre dai fiumi e torrenti, e si verrebbe a conchiudere, che molte regioni d'Italia, dopo operata la conversione della forza idraulica in aria compressa, e questa trasportata a distanze anche grandi, si troverebbero in condizioni migliori, riguardo alla forza, che la maggior parte dei paesi che fanno uso di macchine motrici a vapore. — Abbiamo scelto di proposito un esempio sfavorevole, quello cioè di una forza totale piccola da condursi ad una distanza relativamente grande; il costo del cavallo si ridurrebbe, per la parte afferente al condotto, alla metà ed anche al terzo delle 128 lire trovate di sopra, se si trattasse di condurre da 8 a 10 mila cavalli di forza ad una distanza di anche oltre 50 chilometri. — Ci viene assicurato da un distinto ingegnere delle miniere, che l'Avellino, dalla parte delle cascate delle Marmore, può dare una forza teorica minima e perenne di 160 mila cavalli dinamici; questi potrebbero dare almeno 20 mila cavalli utili in aria compressa, disponibili in ogni direzione ad una distanza di oltre 50 chilometri dal sito della produzione.

Con queste brevi considerazioni abbiamo voluto accennare alle utili applicazioni che si potrebbero fare dell'aria compressa, e chiamiamo l'attenzione dei nostri confratelli su questa nuova applicazione di principii da lunga pezza conosciuti, la quale col tempo, e mercè lo studio di tutti, sarà feconda di utili risultamenti per molte contrade d'Italia.

XIII.

Differenze essenziali nel sistema di compressione all' imbocco nord.

Dopo aver discorso di quanto si fece ai cantieri di Bardonnèche, dovendo ora parlare dei cantieri di Fourneaux, non sarà mestieri di ripetere quelle cose, che sono comuni ai due imbocchi; così, quanto si è detto della perforazione e dei lavori interni in galleria, della ventilazione, delle mine, ecc., è esattamente applicabile al cantiere nord. — Le officine di riparazione, la casa operai, i magazzini, gli uffici, ecc., sono una ripetizione quasi esatta di quanto si vede all'imbocco sud; ma l' imbocco nord presenta delle differenze essenziali, che richieggono ampi schiarimenti.

La prima riflette la compressione dell' aria. — Nel 1857, quando si volle passare dagli esperimenti della Coscia sul compressore a colonna d'acqua all'applicazione in grande del medesimo al di qua e al di là delle alpi, si trovò che a Bardonnèche il volume delle acque del Melezet, ed il salto naturale di cui si poteva disporre, combinavano con le leggi tecniche che reggono il compressore a colonna d' acqua, pel quale era necessario un salto di 26 metri per ottenere una tensione assoluta di 6 atmosfere; ma ben diverse erano a Fourneaux le condizioni idrologiche.

Il torrente Charmaix su un breve spazio dava ogni facilità di ottenere un battente di 26 metri, e anche molto più, ma in una parte dell'anno

la sua portata era troppo insufficiente a somministrare a' compressori il volume d'acqua richiesto; l'Arc che scorre ai piedi del colle, ove si scava la galleria, trasporta anche nella massima siccità un volume d'acqua 6 volte maggiore del volume necessario per l'alimentazione dei compressori, ma non presenta un salto di bastante altezza, poichè tutto al più era possibile procurare un salto di sei metri, scavando un canale paralello all'andamento del torrente.

Questa circostanza, per buona ventura, ci mise in grado di risolvere la questione nel miglior modo che allora si poteva; e ci appigliammo a quel ripiego di far servire la forza dell'Arc a supplire alla periodica deficienza del Charmaix, innalzando, per mezzo di trombe mosse da ruote idrauliche, l'acqua necessaria ad alimentare i compressori a colonna. Quelle trombe, attivate dalle acque dell'Arc, avrebbero innalzato a 26 metri d'altezza da 600 ad 800 litri d'acqua per minuto secondo; quell'acqua, riunita all'altra derivata dal Charmaix, avrebbe, per cinque o sei mesi dell'anno, dato il volume totale necessario per l'alimentazione dei compressori; in questo modo una certa quantità d'acqua si innalzava artificialmente a 26 metri, e ricadeva comprimendo l'aria, per venir poi rialzata di nuovo onde ricadere un'altra volta compiendo lo stesso ufficio. Egli è questo concetto, che diversi, scrivendo delle opere del traforo, chiamarono col nome di *circolo vizioso*, e di *idea singolare*. Ci affrettiamo ad osservare, che l'appunto era fondato per chi avesse avuto in pronto un mezzo industriale per procurare altrimenti tutta la grande quantità d'aria compressa a sei atmosfere di cui si aveva bisogno di assicurare la produzione giornaliera e regolare. Ma dacchè nella meccanica industriale non si rinveniva alcun altro metodo, col quale il nostro scopo si potesse raggiungere, qualunque ripiego che vi ci avesse condotti era *buono*, ancora che fosse stato un circolo vizioso. E tale appunto era la doppia trasformazione di forza, alla quale la necessità ci aveva astretti; sapevamo quanto si perdeva del lavoro utile delle acque derivate dall'Arc, ma queste perdite era una necessità il subirle; sapevamo di più, che all'insufficienza dell'aria compressa raccolta in questo modo si sarebbe supplito con altra forza derivata dall'Arc superiormente od inferiormente allo stabilimento attuale, e vedendo così assicurato, dal lato essenziale, l'andamento dei lavori, non badammo alla singolarità della

idea, se non per cercare come si potrebbe meglio mettere d'accordo i bisogni dell'impresa coi dettami, non diciamo della scienza, ma del senso pratico, evitando, nel tempo stesso, di trascinare l'Amministrazione in ispese infruttuose.

Mentre, piegando alla dura necessità, si stavano ergendo i compressori, dopo anziosi studi sulla materia ebbimo la fortuna di riescire a congegnare un'altra macchina comprimente, la quale, benchè inferiore al compressore a colonna d'acqua dal lato scientifico, e per l'effetto utile teorico, deve però considerarsi come una più semplice soluzione del problema della compressione dell'aria sotto l'aspetto industriale, avvegnachè essa si adatti a tutti i motori a vapore o idraulici, a tutti i volumi d'acqua, ed a tutti i battenti; comunque semplice ne fosse il congegno, e per quanto sicura ne fosse l'applicazione, non si poteva tuttavia, senza previi esperimenti, passare ad una applicazione su quella vasta scala che comportava il caso di Modane.

Un'occasione favorevole si presentò di fare una prima esperienza; la società John Cockerill aveva bisogno di una produzione non indifferente d'aria compressa per la prova delle perforatrici; essa adottò il nuovo sistema, ed in pochi mesi ebbe una tromba comprimente nel suo stabilimento, a cui veniva dato il moto mediante il vapore. Dai primi giorni dell'anno 1859, in cui quella macchina fu posta in attività, sino al giorno d'oggi, lavorò sempre con la massima regolarità, senza che siasi mai manifestato il bisogno di qualsiasi benchè minima riparazione; i risultati furono a tal segno soddisfacenti, che la Direzione tecnica non potè a meno di riconoscere, che nella nuova tromba comprimente stava la vera soluzione delle difficoltà incontrate a Modane nell'attivazione dei compressori a colonna; e tanto più ne riesciva facile l'applicazione, in quanto che si poteva mantenere intatto il sistema delle ruote adottato per l'innalzamento delle acque, e sostituire solo alle trombe idrauliche delle trombe comprimenti dell'aria.

Da prima si limitò a due ruote quella trasformazione, e sono desse che oggigiorno producono tutta l'aria compressa, che si consuma in galleria alla entrata nord; per modo che si hanno in attività al traforo delle alpi i due sistemi di compressione, quello a colonna a Bardonnèche, e quello a tromba a Modane.

Le trombe comprimenti diedero a Fourneaux, come nel Belgio, i risultati i più soddisfacenti; sole le ruote, che si erano per ragioni d'economia costrutte in legno, fecero cattiva prova, ed obbligarono a varie riparazioni, mettendo in chiaro la convenienza di averle in ferro.

Non ci fu ancor dato di poter esperimentare queste macchine al punto di vista tecnico, per accertare l' effetto utile prodotto in aria compressa, paragonato all'effetto teorico dell'acqua motrice, ma al punto di vista dell' impresa abbiamo acquistato la piena sicurezza, che, dopo che saranno trasformate le quattro altre ruote, e quando avremo potuto condurre nei compressori a colonna quella quantità d' acqua, che si può derivare dal Charmaix, i lavori della galleria saranno completamente e largamente assicurati per tutto il tempo delle loro durata, così che più non occorrerà verun' altra spesa per l'aumento dell'aria compressa. Di fatto l'esperienza di un anno ci ha dimostrato, che in media si può far conto su 30 litri d'aria compressa per minuto secondo, e per ciascuna ruota; avremo adunque, oltre alla produzione dei compressori a colonna, e supposta sempre ferma una delle sei ruote, un volume d'aria compressa di 12,900 metri cubi al giorno, e con le sei ruote un volume di 15,480 metri cubi, col quale si può andare incontro con fiducia ad ogni qualunque eventualità. Al presente non abbiamo che il terzo appena della quantità suddetta, ed il lavoro comincia a soffrirne; ma essendo di già in corso di costruzione le trombe comprimenti, tanto per Bardonnèche, quanto per Modane, fin di quest' anno stesso saremo in grado di raddoppiare, per lo meno, l' attuale quantità di aria compressa ai due imbocchi.

XIV.

Differenza nella ventilazione all'imbocco nord e mezzi per produrla.

La ventilazione si opera molto più difficilmente all' imbocco nord, che all' imbocco sud, e questo costituisce un altro punto di differenza.

A Bardonnèche la galleria è pressochè orizzontale, e ciò favorisce la espulsione del fumo e dei gaz; a Fourneaux invece la galleria pende dall'indentro all'infuori di millimetri 22 per metro; e questa inclinazione, che sarà una causa potente di ventilazione allorchè l'intera galleria sarà aperta, riesce ora di ostacolo al rinnovamento dell'aria durante l' esecuzione dei lavori di perforamento. Questo rinnovamento si opera in due modi: uno artificiale, naturale l'altro. Il modo artificiale consiste nell'aria compressa introdotta in galleria come forza motrice, o direttamente come mezzo di ventilazione. Il modo naturale è fondato sulla differenza esistente tra la temperatura esterna e quella dell'aria in galleria, per effetto della quale due correnti in senso contrario si stabiliscono, l' una d' aria pura che entra, l' altra che esce d' aria viziata di fumo e di gaz; queste correnti hanno velocità tanto maggiore, quanto maggiore è la differenza della temperatura che le produce, e si mostrano alquanto efficaci, principalmente nell'inverno. Si è osservato, che l'effetto ne è molto variabile, e che in nessun caso vi si può fare sopra grande assegnamento per la ventilazione dei lavori, la

quale quindi non potrà essere altrimenti prodotta, che con mezzi artificiali. Ma anche l' impiego dei mezzi artificiali e dell' aria compressa trova un ostacolo nell'inclinazione della galleria; questo inconveniente, che si farebbe sempre maggiore, a misura che l'avanzamento progredisce, può essere completamente tolto, operando, oltre alla ventilazione con l' aria compressa, un'altra ventilazione molto più potente con una macchina speciale.

Il sistema a tromba per la compressione dell' aria in servizio a Fourneaux è tale, che, presane l' idea al rovescio, la tromba comprimente si trasforma in potente macchina aspirante, ed ove si disponesse all'imbocco della galleria d' una forza motrice sufficiente, la ventilazione dei lavori si farebbe su così vasta scala, che li inconvenienti accennati sparirebbero per sempre; e in vero, posto che si potesse aspirare l'aria viziata e condurla fuori lungo un canale di legno sospeso al cielo della galleria, mentre l'aria esterna affluirebbe regolarmente lungo la galleria stessa sino al sito dei lavori, ed in quantità bastevole, svanirebbe ogni timore per l'avvenire.

Tale è appunto l'idea, che siamo in procinto di realizzare. Una derivazione dal Charmaix di una portata minima di 200 litri al secondo è stata condotta all'imbocco della galleria, procurando che il battente riescisse di 70 metri all'incirca. Quell'acqua darà il moto ad una macchina rotatoria a colonna, la quale con moto alternativo reggerà due enormi stantuffi di forma speciale; questi stantuffi si muoveranno in due masse d' acqua di volume invariabile, racchiuse in due camere, e le innalzeranno alternamente in due colonne sovrapposte, e comunicanti col canale di aspirazione.

Innalzandosi nelle colonne, l' acqua caccierà fuori l' aria ivi contenuta, ed abbassandosi aspirerà dal canale della galleria tant' aria, quanto è il volume dello stantuffo; poi, rialzandosi di nuovo, la caccierà fuori per aspirarne dell'altra.

In questo modo, con le forze di cui disponiamo, quando saremo giunti a 6000 metri dall' esterno potremo ancora aspirare da quella distanza un volume d'aria, il quale, per quanto pessime possano essere le circostanze, non sarà mai al dissotto di 900/mila metri cubi al giorno; cioè quasi dieci volte la quantità d'aria, che la Commissione giudicò sufficiente.

La ventilazione prodotta dall' aria compressa, ed alla tensione a cui si lascia sprigionare dai recipienti che la racchiudono, non è in sè una

conveniente applicazione di quell'aria, e non si deve ricorrere a questo mezzo salvo che nelle circostanze nelle quali il vantaggio ricavato è tale da consigliarne l'uso anche a dispetto dei principii. Diffatto, un metro cubo d'aria compressa a sei atmosfere non dà per ventilazione che sei metri cubi d'aria naturale, riprendendo il suo primitivo volume; mentre invece a quella tensione di sei atmosfere quel metro cubo d'aria conteneva virtualmente in sè un lavoro teorico di 110,000 chilogrammetri, che andò intieramente perduto; se invece di lasciarlo espandere liberamente nell' atmosfera si facesse prima passare per un meccanismo, che desse moto ad una ventola qualsiasi, si otterrebbe per la ventilazione: 1.° li sei metri cubi d' aria ordinaria costipati nel metro cubo d'aria compressa a 6 atmosfere; 2.° tutta l'aria che sarebbe data dalla ventola, e corrispondente al lavoro prodotto dall' espansione del metro cubo d'aria compressa, e questa ascenderebbe per certo a più centinaia di metri cubi a seconda delle circostanze.

L'aria compressa ad alta tensione non può quindi essere impiegata direttamente nella ventilazione senza un grandissimo scapito del lavoro consumato nella compressione, stante che la ventilazione richiede grandi volumi a piccolissima tensione, mentre l'aria compressa, nello scopo di servire come forza motrice, richiede un piccolo volume ad alta tensione.

Risulta da questi principii, che nei nostri lavori, per non perdere la più gran parte del lavoro accumulato nell'aria compressa, di cui si fa uso in galleria per cacciare il fumo, si dovrebbe stabilire un doppio sistema di compressione, ciascuno co' suoi speciali condotti, uno per comprimere l' aria ad alta tensione per servire di forza motrice, l'altro per la ventilazione a piccola tensione; ed allora si sarebbe in accordo coi principii teorici. Sfortunatamente quest'accordo non si sarebbe ottenuto che con grande aumento nelle spese di primo stabilimento, e per la confusione di tanti condotti e di tante manovre diverse a farsi in galleria, i lavori d'avanzamento si sarebbero trovati incagliati in modo da costringerci a rinunziare alle applicazioni dei principii della teoria, per far quello che il senso pratico ci consigliò fin da principio, e che l'esperienza ha dimostrato essere la via migliore. Avendo esperimentato quanto agevolmente si purgano dal fumo i diversi punti del lavoro, dopo lo scoppio delle mine, con getti d'aria a quella stessa tensione a cui si porta nelle perforatrici, e così quanto si

guadagna in tempo e in danaro, fummo convinti della convenienza di non cangiare un sistema che tanto bene si adatta ai nostri bisogni, ed anzi di dargli tutto quello sviluppo che comporta la forza motrice di cui disponiamo ai due imbocchi.

Se anche qui ci si facesse rimprovero di fare scialacquo di questa forza, perdendo la maggior parte dell' effetto utile calcolato, rispondiamo che a noi, non più che ad altri, isfuggirono i pochi apparenti controssensi meccanici che si incontrano nei lavori del traforo, e che se talvolta ci appigliammo ad un' *idea singolare*, ad un *circolo vizioso*, egli fu perchè, o non si poteva fare diversamente e in modo conforme alle regole d' arte, o perchè ancora, fra tutti i mezzi conosciuti ed applicabili, il *circolo vizioso* era precisamente quello che meglio risolveva la questione al suo vero punto di vista, cioè riguardo all'economia della spesa, e ad una più pronta ultimazione dell' impresa. L'effetto utile delle nostre macchine deve intendersi, come in tutte le macchine industriali, composto di due distinti elementi: l' effetto utile dinamico astratto, senza riguardo all'applicazione; e l'effetto utile industriale, che si vuole raggiungere. Nel nostro caso l'effetto utile industriale è il perforamento delle alpi; e qualunque macchina, qualunque sistema di lavoro, che darà il più celere avanzamento, sarà il migliore ancorchè non restituisse che pochi centesimi dell'effetto utile astratto segnato dal calcolo, perchè, lo ripetiamo, l'effetto utile da ottenersi è la più accelerata apertura delle alpi.

Gli scienziati hanno parlato e scritto assai intorno alle opere meccaniche del traforo; e l'Amministrazione avrà inteso talvolta le osservazioni fatte con non troppo maturo consiglio da qualche persona tecnica andata a visitare i nostri lavori, e i di cui studi furono pubblicati; era qui necessario che noi allontanassimo il sospetto che le singolarità ravvisate di volo da persone, che non consacrarono che poche ore all'esame dei lavori, ci fossero sfuggite durante i tre anni che abbiamo consumati nel meditarli e progettarli.

XV.

Piano inclinato automotore all' imbocco nord.

L'ultima differenza, che si incontra nell'impianto generale di Fourneaux, è il piano inclinato automotore; come dinnanzi si è accennato, il termine settentrionale della galleria è posto a metri 106 (in cifre tonde) al di sopra della valle dell'Arc, nella quale sono stabilite le officine di riparazione, i magazzini, ed altri locali.— All'altezza della galleria si sono stabiliti quegli edifizi per abitazioni, uffizi, e per le riparazioni piccole ed urgenti, che le difficoltà del luogo consentivano; e per le comunicazioni fra la galleria e le officine principali si costrusse un piano automotore, mediante il quale le officine e la galleria fossero congiunte con una via ferrata continua.— Il piano inclinato ha $1^{m.}$ d'altezza per 2, 23 di base, ed una larghezza di metri 6, 50.— Ed ecco come viene esercitato: una grande puleggia è collocata sulla sommità del piano, una fune metallica robustissima si avvolge attorno ad essa rimanendo in contatto per mezza circonferenza, la lunghezza della fune è tale, che quando un' estremità trovasi al piede del piano inclinato, l' altra estremità si trova alla cima. A ciascuna estremità è legato un carro a quattro ruote, il quale è costrutto a guisa di recipiente o di *tender*, e può contenere circa due mila litri d'acqua, oltre al carico utile da trasportarsi. I carri sono alternativamente

ascendenti e discendenti; stando in riposo, l' uno si trova alla sommità, l'altro al basso. Su quest' ultimo si caricano le materie da innalzarsi, nell' altro si introduce l' acqua in quantità sufficiente a rompere l'equilibrio; i carri si muovono, ed una accelerazione incomincia, ma il moto si fa tosto regolare, e si governa a talento con un freno che agisce sulla puleggia maestra. — Giunti i carri, ciascuno alla sua meta, si scarica quello della sommità, e si svuota dell'acqua l'altro del basso, il quale, a sua volta, può essere caricato, ed essere tratto in alto, introducendo l'acqua nel primo. — In pochi minuti si innalzano così circa 1,500 chilogrammi, all'altezza di 106 metri, per mezzo della sola gravità.

XVI.

Perforazione meccanica all'imbocco nord.

I lavori di escavazione della galleria cominciarono a Modane contemporaneamente a quelli di Bardonnèche, e si continuarono sempre, salvo la interruzione avvenuta alla cessazione del contratto coll'appaltatore Gallo, e quell'altra, a cominciare dal novembre 1862, avvenuta per far luogo ai lavori preparatorii per l'impianto della perforazione meccanica, che fu iniziata il 25 gennaio dell'anno corrente.

L'esperienza acquistata a Bardonnèche fu utilmente usufruttata a Fourneaux, riguardo sia alle modificazioni dell' affusto e delle perforatrici, sia alla disposizione dei condotti e di tutti gli accessori, sia alle molteplici manovre da eseguirsi. — I lavori cominciarono con l' aiuto di pochi operai meccanici e minatori, traslocati all'uopo da Bardonnèche a Fourneaux, e tale fu il risultato, che, sin dall'esordire, il numero delle riprese o mute potè essere spinto sino a 37 nel mese di febbraio, e raggiunse il numero di 24 nella prima quindicina di marzo; così che in 41 giorni di lavoro si ebbero 61 mute; il tempo totale impiegato nella perforazione fu di ore 565, durante le quali si praticarono 4,460 mine della profondità di centim. 76; si usarono 7,086 scarpelli, e si cambiarono 168 perforatrici. — Il numero delle mine fatte scoppiare fu di 5,946, essendosene dovuto

ricaricare N.° 1374. — Il tempo impiegato per lo scoppio delle mine, e per lo sgombro del pietrame, fu di ore 398, e l'avanzamento ottenuto fu di circa un metro al giorno.

Questi risultati non possono essere considerati altrimenti, che come soddisfacenti in sè stessi, e tenuto conto delle difficoltà dei primordi di un lavoro, pel quale gli operai, all'infuori dei pochissimi venuti da Bardonnèche, sono ancora nuovi, e quasi affatto inesperti. — Soddisfacentissimi poi si troveranno, ove si vogliano paragonare a quelli ottenuti a Bardonnèche nei primi sei mesi del 1861, durante i quali si avviò il nuovo sistema. — Essi ci dànno la certezza, che fra poco avremo raggiunto a Fourneaux l' avanzamento che si ottiene a Bardonnèche. — E per l'uno, come per l'altro imbocco, altro non rimane ora da farsi, che di perfezionare le macchine, rendere le manovre più spedite, e guadagnare tanto sulla perforazione, quanto sullo scoppio delle mine, e sullo sgombro delle materie, quel tempo che basti a compiere, prima regolarmente le due mute sulle 24 ore, secondariamente di dare ai fori quella maggiore profondità, che sarà compatibile col tempo guadagnato.

Allorchè potremo disporre della quantità d' aria compressa, riconosciuta indispensabile, ed avremo introdotte nelle perforatrici le modificazioni suggeriteci dall'esperienza, e richieste dalla natura della roccia, ed allorchè infine potremo avere quel numero di operai esperti, che ci sia dato di cambiarli a tempo opportuno, e prima che un troppo prolungato lavoro li infiacchisca, potremo allora pensare a stabilire le tre mute giornaliere, e sciogliere la questione se più pronto sarà il progresso in galleria, con sole due mute ed una maggiore profondità nei fori, o con tre mute e con fori meno profondi.

Noteremo qui di passaggio, che i lavori di Fourneaux sono ancora illuminati ad olio, e che il modo di illuminazione esercita pur esso non piccola influenza sulla speditezza nel compiere i lavori. — L'esperienza fattane a Bardonnèche ha dimostrato due cose:

1.° Che con l'olio e le lampade i lavori non sono abbastanza illuminati, gli apparecchi sono oltremodo incomodi, e le rotture dei vetri frequentissime, e che la mano d'opera non è così proficua;

2.° Che col gaz tutti quegli inconvenienti scompaiono, la luce è vivissima

ed abbondante, nulla soffre per causa dell'acqua, nè dell'aria, nè della polvere, ed il maneggio di tutto l' apparecchio a gaz dà meno fastidio di quel che diano tutte le cure richieste da una sola lampada ad olio.

L'illuminazione a gaz è dunque un miglioramento, che di necessità dovrà introdursi a Fourneaux.

CONCLUSIONE.

Le cose fin ora esposte sembrano formare un'analisi completa di quanto si operò pel traforo delle alpi, e bastano a dimostrare, come la Direzione tecnica abbia adempiuto al suo còmpito. — Si è veduto dalla mole delle opere descritte, che il solo impianto di tanti edifizii e meccanismi era già di per sè un'impresa difficile, se si riflette in quali località si lavora, e tanto più lo diventava per la novità dei mezzi.

Al quale riguardo diremo, che gli esperimenti della Coscia avevano pienamente, ma quasi astrattamente, confermate le concepite speranze, lasciando ancora a studiare come si sarebbe passato dal modello esperimentato alla esecuzione su vasta scala di tutti i meccanismi, come si sarebbe posto rimedio a tutti i difetti già riconosciuti, e come le correzioni avrebbero poi, ad opera compiuta, corrisposto alla aspettativa.

Dieci mesi furono consumati negli anni 1857-58 per congegnare il sistema di compressione; altri sei mesi e più si consumarono nel 1858 pel sistema di perforazione; e tanto i compressori, quanto le perforatrici, furono quasi radicalmente riformati in tutti i loro organi.

In ordine alle perforatrici non solo costò molta fatica il renderle più acconcie alla loro destinazione, di quanto non fosse la perforatrice della

Coscia; ma si dovettero fare negli stabilimenti dei costruttori diverse pruove per addestrare gli operai in quel nuovo lavoro, tanto diverso dagli ordinari lavori della meccanica.

Intanto progredivano gli scavi in galleria coi mezzi comuni, e, mentre si preparavano i mezzi straordinari, si giungeva ad una lunghezza complessiva di avanzamento di circa 1,600 metri. — Tutte queste circostanze, accennate fra le principali che accompagnarono l'impresa, dimostrano come la Direzione tecnica non avrebbe potuto trarre dal tempo migliore partito, nè maggiore energia spiegare.

A questo punto della nostra relazione sorge naturalmente la questione che in sè tutte le altre compendia. — Quando sarà aperta la galleria, quanto tempo avranno ancora da durare i lavori? — Tali sono l'importanza e l'opportunità di sì fatta domanda, tante sono le circostanze che possono influire sulla risposta a darsi, e tale infine la risponsabilità assunta dalla Direzione tecnica, che essa è in obbligo di spiegare con franca fiducia all'Amministrazione il suo modo di vedere in proposito.

Abbenchè, riguardo a molte questioni secondarie, si sia di già e più volte accennato, in relazioni d'ufficio, a quanto si debba fare o correggere per agevolare e rendere più spedito il progresso dei lavori, sarà cosa opportuna di riandare qui i punti principali, sui quali avremo da chiamare particolarmente l'attenzione dell'Amministrazione, onde ottenere ciò che sta nei voti di tutti, il più pronto compimento dell'opera.

Arrogi, che la convenzione con la Francia mettendo per li sei chilometri, la di cui spesa deve essere dalla Francia sostenuta, una parte del costo reale sotto forma di premio, per gli anni guadagnati sulli 25, assegnati come estremo limite alla durata dell'opera, ha talmente aumentato il valore del tempo, che ogni sforzo non è soverchio per vincere il maggior premio possibile, quando non fosse bastante, per eccitare ogni nostra attività, l'incalcolabile vantaggio di abbassare il più prontamente le barriere, che separano commercialmente, civilmente e politicamente l'Italia e la Francia.

Nulla poi diremo degli obblighi impostici dal nostro onore impegnato a vincere la pruova, unica nelle battaglie scientifiche, il vero premio della quale sarà la soppressione delle alpi.

L'interesse di sessanta milioni d'Italiani e Francesi ne è vivamente

impegnato. — E l'Amministrazione vedrà con noi la questione del costo anzitutto nella questione del tempo. — Non vogliamo dire con ciò, che si abbiano a profondere ingenti somme per guadagnare pochi giorni; il nostro dire vuol essere inteso in questo senso: la cifra totale, a cui potrà ascendere la spesa finale della galleria, è oramai calcolabile con esattezza, e non sorpasserà le quattro mila lire al metro corrente, che servirono di base alla convenzione francese, non dimenticando, che il premio altro non è, che la parte di quel costo, che si volle lasciare variabile in ragione inversa della durata dei lavori.

Questa spesa non potrebbe essere oltrepassata che per causa di difficoltà impreviste su qualche tratto di considerevole lunghezza in galleria, o su brevi, ma ripetuti tratti, oppure perchè dalle spese di mano d'opera e di materie non si trarrebbe tutto il dovuto profitto. — Trattandosi di difficoltà gravi ed impreviste non possono farsi delle ipotesi sulla loro entità. E se esse avverranno, ci accingeremo a vincerle con ogni sforzo possibile. — Ma riguardo alle spese di mano d'opera e di materie, che formano la totalità della cifra prevista, havvi, e si conosce, quel modo di dirigere le cose che dà l'effetto utile maggiore, ed è questo il modo che vuole essere adottato per abbreviare la durata dei lavori; il traforamento delle alpi non vuole essere diversamente condotto a un di presso, che come l'assedio d'una fortezza.

Prese tutte le cautele, con le quali l'Amministrazione deve assicurare il buon impiego del pubblico denaro, stabilite quelle norme, che definiscono le attribuzioni e la responsabilità del personale, in guisa che l'operato di ciascuno possa essere prestamente giudicato, tutto deve essere ordinato allo scopo, che i lavori ausiliari, ravvisati in progresso d'opera utili ed essenziali, possano immediatamente venire eseguiti; interpretando all'uopo gli articoli di legge, che prescrivono piuttosto uno, che un altro modo nella condotta dei lavori, in quel senso veramente utile, che loro dànno la natura dell'impresa, l'asprezza dei luoghi, la quasi assoluta mancanza di tutti i mezzi industriali, anche i più rozzi, e l'abbondanza dei mezzi creati dall'Amministrazione, coi quali possiamo provvedere ai nostri bisogni, con minor costo e maggiore speditezza, che non col chiamare da lungi speculatori concorrenti, quando pur si trovano.

La Direzione tecnica non ignora, che gli Amministratori hanno, ciascuno nel suo grado, una grande responsabilità rimpetto alle leggi, che regolano la contabilità dello Stato, e per certo non può essere nel nostro pensiero di indurre chi ha l'incumbenza di esaminare le proposte della Direzione tecnica a schivare i prescritti dei regolamenti e della legge per far più presto, ma noi dobbiamo segnalare tutti i modi, coi quali si può accelerare il compimento dell'impresa; e siccome fra questi è pur compreso quello che consiste nell'abbreviare il corso delle proposte per lavori accessori, ma essenziali, e per provviste, e nella scelta della via a tenersi per compierli il più prontamente possibile, era nostro obbligo di farne speciale menzione; e dall'astratto passiamo tosto ad un caso concreto.

Fra i lavori accessori, dei quali più vivamente sia sentito il bisogno, crediamo qui luogo di dover far menzione fin d'ora delle costruzioni per alloggio degli operai. — In quest'anno avremo portato quasi al doppio dell'attuale la quantità d'aria compressa; disponendo così di forze maggiori, ci vorrà, per accelerare i lavori, un notevole aumento nel numero degli operai di ogni arte, al segno che certe classi dovranno essere portate al doppio; ma per gli uomini chiamati sulle alpi, a Bardonnèche, e più ancora a Fourneaux, due cose essenziali si richiedono: 1.° l'alloggio; 2.° la facilità di procacciarsi il vitto, e di provvedere alle altre più urgenti necessità della vita, senza pagare li prezzi troppo elevati ed arbitrari, che la mancanza d'ogni concorrenza induce momentanei provveditori ad esigere.

La necessità di pensarvi per tempo è resa più incalzante ancora dal riflesso, che il caro nel vivere tragge con sè logicamente il rialzo nei salarii, in modo che, non provvedendo per tempo a quell'ineluttabile bisogno, si incorre in due perdite sicure, avvegnachè non si possa dare ai lavori quell'impulso che sarebbe possibile, pagando tuttavia le giornate più care. Ma vi ha di più: gli operai sono dispersi a grandi distanze principalmente a Fourneaux, e devono più volte al giorno percorrere in ogni tempo e stagione la strada da Fourneaux a Modane, dove vivono, e da Modane a Fourneaux ove lavorano. — Per quelli poi che lavorano in galleria, sommando assieme le varie distanze da Modane a Fourneaux, la salita di 106 metri per accedere al cantiere della galleria, e la lunghezza della galleria

già scavata, tra andata e ritorno si ha un percorso da 10 a 12 chilometri di via, soventi resa difficile dalle pioggie, dai venti e dalla neve. — E certamente la forza vitale consumata in quell'esercizio riesce a scapito del lavoro.

Oltre a ciò i capi d'arte, principalmente a Bardonnèche, abitano lungi dal luogo del lavoro, nel villaggio sito alla distanza di quasi due chilometri dalla galleria, e ciò è visibilmente contrario ad ogni buon reggimento dei lavori, conciossiachè se si deve alloggiare qualcuno vicino ad essi, questi sono precisamente i capi. — Non è possibile che i lavori non abbiano spesso a soffrirne da un tale stato di cose, perchè anche con un personale volonteroso e zelante, quale è il personale addetto al traforo, molte fiate e il buon volere e lo zelo devono piegare di contro a quelle sfavorevoli circostanze dei luoghi; e ciò è tanto più vero, in quanto che i nostri lavori sono in piena attività durante tutte le 24 ore del giorno, e durante l'anno intero. — Se, astrazione fatta dal carattere umano, ci facciamo a considerare l'uomo come strumento intelligente di lavoro, vedremo, che al pari d'ogni altro istrumento ha le sue condizioni, fuori delle quali non rende più buoni servizi. Le due condizioni inerenti all'uomo considerato come istrumento sono l'alloggio salubre, e il vitto abbondante, e perciò non caro. A queste condizioni bisognerà provvedere immediatamente: 1.° col moltiplicare le abitazioni; 2.° con lo stabilire un servizio di viveri a prezzi fissi, e con provvigioni sufficienti obbligatorie. — Queste non sono nè cose nuove, nè teorie umanitarie; sono invece cose di pratica applicazione, e potremo citare importanti esempi di case industriali, le quali, abbenchè site nel centro di popolose città, hanno adottato quei due mezzi di rendere la vita migliore ai loro operai, e di aumentare con ciò i loro benefizii. — Il benefizio a cui noi miriamo è il più pronto acceleramento dell'opera, e se vogliamo procurarlo nulla deve essere lasciato d'intentato.

La Direzione tecnica tanto a Bardonnèche, quanto a Modane, dovette eseguire in economia poche costruzioni indispensabili; con questo mezzo, oltre all'avere con tutta la rapidità desiderabile condotto a termine quelle piccole intraprese, e con tutte le garanzie di un sicuro e severo controllo, ebbe la soddisfazione di riconoscere, che nessun impresario avrebbe potuto fare con minore spesa. — Essa vorrebbe quindi per le case che mancano,

e per le quali i terreni sono di già acquistati, essere autorizzata a dar principio alle costruzioni appena lo permetterà lo scioglimento delle nevi; se invece si dovesse procedere col sistema degli appalti, difficilmente avremo in quest'anno quelle costruzioni, e probabilmente forse neppure nell'anno venturo; l'accelerazione dei lavori per questa mancanza ne soffrirebbe assai.

In generale, per quanto spetta alle opere esterne ed accessorie, l'Amministrazione potè giudicare della poca convenienza degli appalti per costruzioni e per talune provviste, per l'impossibilità di trovare una vera e numerosa concorrenza. — E ciò era da prevedersi, poichè per delle opere di poca entità da eseguirsi a più di 1300 metri sul livello del mare, quale è l'appaltatore che voglia incorrere in spese generali affatto sproporzionate come si è nel caso nostro? Per altra parte l'appaltatore anzi tutto cerca il suo interesse, e se egli lo trova nel prolungare la durata dei lavori, nell'intento di pagar meno per la mano d'opera e per le materie, egli ha sempre qualche mezzo di sottrarsi alle condizioni di tempo impostegli, e se acconsente a secondare le premure dell'Amministrazione e della Direzione dei lavori, in questa stessa condiscendenza egli ha per mira direttiva di porre un addentellato onde chiedere indennizzi e muovere litigi ad opera finita.

Per certe provviste l'appalto è affatto impraticabile, mancando del tutto la concorrenza, e gli ultimi appalti rimasti infruttuosi produssero l'effetto di far crescere le pretese dei pochi provveditori, dai quali soli, ed a trattative private, si poteva prima comperare a prezzi discreti; ed essendo tuttavia al principiare dell'impresa, il prezzo della legna da lavoro e del carbone, che è giocoforza trarre dai comuni circonvicini, è aumentato di molto ed aumenterà ancora. — Non vi è dubbio, che se li stabilimenti di Bardonnèche e Fourneaux dovessero essere fissi e duraturi, l'Amministrazione dovrebbe fare ogni possibile per mettere d'accordo le difficoltà locali coi regolamenti amministrativi; ma fra pochi anni Bardonnèche e Fourneaux non saranno più altro che due stazioni alpine di strada ferrata, e non saranno guari più popolati di prima.

L'opera del perforamento delle alpi è un'opera eccezionale sotto ogni aspetto; un'opera, nella quale si deve ad ogni costo abbreviare il tempo; una volta compiuta, il maggior valore che si avrà dato alle opere accessorie, ed agli annessi transitori onde ottenerli più tosto, sarà sproporzionatamente

compensato dalla maggior celerità con cui avrà progredito l'opera principale. — Riguardo a tutte le spese occorrenti la questione non può essere posta nel solito modo fra due concorrenti, dei quali l'uno domanda più, e l'altro meno, ma bensì tra la rapidità e la lentezza di esecuzione.

Dall'anno 1858 al 1860, mentre si costruivano le macchine, si poteva fare assegnamento sul tempo che si aveva avanti di noi, e si poterono appaltare, ma senza sufficiente concorrenza, molte costruzioni esterne; in oggi il sistema meccanico essendo in attività dai due imbocchi, ogni provvedimento o lavoro, che la crescente esperienza dimostra utile o necessario, deve essere preso ed eseguito immediatamente, perchè ogni giorno perduto in discutere costa danaro, ed allontana di parecchi altri l'epoca dell'apertura delle alpi.

Mentre si porrà mano alle costruzioni supplementarie, di cui abbiamo discorso, mentre si ergeranno le tettoie per le macchine di compressione ora in via di esecuzione, la Direzione tecnica prepara il progetto per la riforma e l'estensione degli apparecchi di perforazione; gli studi sono di già a tal mira condotti, e sì fattamente coordinati a quanto l'esperienza ci insegnò sin'ora, che senza timore d'ingannarci possiamo ripromettercene buonissimi risultati, sia riguardo alla maggior forza delle macchine, che alle semplificazioni introdotte nel congegno, alle facilità delle manovre, ed alle riformate cause di guasti; — e di tutto a tempo opportuno la Direzione tecnica ragguaglierà l'Amministrazione con quella abbondanza di particolari richiesta dal caso. — Nel tempo stesso la Direzione tecnica proporrà un progetto, che si sta studiando dietro invito della Amministrazione stessa, per meglio regolare la mercede del personale addetto alla perforazione, interessando la loro attività con premi in ragione dell'avanzamento che si otterrebbe al di sopra d'un limite inferiore da fissarsi.

Non dubitiamo, che nell'anno corrente si saranno introdotte tutte quelle migliorie nelle perforatrici, di cui abbiamo tenuto parola; eseguite le abitazioni supplementarie richieste; erette le macchine di compressione ora in corso di esecuzione; che nel frattempo si sarà vieppiù aumentato ed impratichito il personale; dato alla ventilazione artificiale una maggiore efficacia; non dubitiamo finalmente, che quando avrêmo in siffatto modo aumentato i nostri mezzi, potremo, basandoci sui risultati già ottenuti, dare

speranza certa, che il limite massimo di durata, calcolato ultimamente dall'illustre generale, Ministro dei lavori pubblici, nel suo applaudito discorso alla Camera elettiva (tornata 4 marzo scorso), dovrà essere notabilmente ristretto.

I risultati sui quali fondavasi il calcolo del Ministro furono ottenuti con quei primi mezzi che la mente appoggiandosi al senso pratico aveva potuto concepire, introducendovi di poi quei perfezionamenti che l'esperienza dimostrò sul bel principio necessari; ma affinchè si possano assumere quei risultati come base definitiva pel calcolo del tempo, bisognerebbe che nessun progresso fosse più sperabile, tanto nel personale, quanto nelle macchine; vale a dire bisognerebbe che in un lavoro, che tanto si scosta, riguardo ai mezzi adoprati, da tutti i lavori industriali, si fosse raggiunto di primo sbalzo ogni perfezione attendibile. — Ma se questo non si può dire neppure d'una macchina qualsiasi, e, comunque semplice, lo si dirà tanto meno di un sistema, che tante novità in sè racchiude ad una volta, dipendenti tutte per l'effetto finale le une dalle altre, e pel quale è veramente il caso di ripromettercì per certo dei notevoli ulteriori progressi. — Nel ricercarli e nell'introdurli la nostra energìa non verrà mai meno, e continueremo a consacrare ad un'opera, cui il paese ed i suoi rappresentanti con tanto amore favoriscono, le nostre forze, il nostro tempo, ed il nostro pensiero; ed in ciò giova notare, che non mai direttori d'opere furono meglio assecondati dal loro personale di quello che lo fu la Direzione tecnica dai giovani e distinti ingegneri preposti al governo immediato dei lavori.

Del sig. Borelli, ingegnere di sezione a Bardonnèche, ci gode l'animo di ripetere, che maggior intelligenza, più instancabile zelo, nè allo stesso tempo più vigile gelosia per gli interessi dell'Amministrazione non si sarebbe in nissun altro potuto trovare; quando si diede principio alla perforazione meccanica, egli fu sempre, e per più mesi, presente nel cantiere d'avanzamento, dividendo le fatiche dei capi-operai, osservando il nuovo metodo in tutti i suoi particolari, combinando congegni e manovre più adatte, invigilando alla sicurezza del personale, e nulla omettendo di quanto era da lui fattibile, e che avesse tratto ad un miglioramento del sistema. Coadiuvato per altra parte dai capi-cantieri e dal personale delle officine col zelo di cui egli dava così efficace esempio, non passava settimana che egli

non avesse qualche buona idea da proporre o da mandare ad effetto. Nel momento in cui per la prima volta si parla dei risultati ottenuti con la perforazione meccanica era giustizia di fare menzione di chi vi ebbe cotanta parte.

Il sig. Copello, ingegnere di sezione alla opposta parte, si accinse anch' esso all' opera con pari ardore ed intelligenza; e non dubitiamo che nella relazione dell'anno venturo avremo a segnalare i suoi successi. Tra i due ingegneri è oramai impegnata una gara, nella quale, siamo certi, non verranno meno in nessuno di essi quelle facoltà di cui hanno dato ampia prova.

L'ingegnere Copello, incaricato da prima delle operazioni geodetiche relative alla galleria, fu preposto alla sezione di Modane nel luglio 1861 allorchè il signor Enrico Mella, ingegnere del Genio Civile, fu dall'Amministrazione chiamato ad altra carica nelle provincie meridionali. È debito di giustizia il ricordare quì l'intelligenza e lo zelo dell'ingegnere Mella, che dall'iniziamento dei lavori sino alla citata epoca diresse la costruzione di tutti gli edifizii del cantiere nord, non che lo scavo della galleria coi mezzi ordinarii.

La Direzione tecnica fallirebbe ad un altro dovere ove essa non rammentasse come i cambiati destini della Savoia non ebbero sull'andamento dei lavori a Fourneaux alcuna benchè minima rincrescevole influenza; trovammo anzi in ogni occorrenza nelle autorità amministrative del dipartimento un premuroso desiderio di favorire, e facilitare il corso dell' impresa con opportuni provvedimenti diretti a togliere quegli inciampi, che naturalmente insorgono quando un Governo lavora sul territorio di un altro e sul proprio alla stessa opera. Speciali ringraziamenti dobbiamo dirigere al benemerito ingegnere capo del dipartimento sig. Conte, membro della Commissione internazionale, al quale spesso abbiamo da ricorrere per servigi, o per soluzioni di difficoltà, e che non mai ci negò la sua pronta cooperazione; il cordiale interesse che egli nutre per un lavoro, che tanto benefica fin d' ora la località in cui si eseguisce, e beneficherà in avvenire tutta la Savoia, ci è pegno che dureranno i fausti auspici dei primordi, sino a che, nell'opera compiuta, ognuno che vi avrà contribuito, o in un modo o nell' altro possa cogliere la sua parte di soddisfazione; aggiungeremo che il personale di Fourneaux, composto come è di italiani e di

francesi, si comportò sempre, riguardo alle autorità ed alle leggi d'ordine pubblico, con tutto quel decoro che può sperarsi da così numerosi operai concentrati in località così ristretta. Essi sono, in generale, animati di un buon spirito d'ordine, di docilità e di prudenza; e la Direzione tecnica nutre fiducia, che essi non daranno fastidi alle autorità più nell'avvenire che nel passato.

Alle cose sovra esposte dobbiamo ancora aggiungere, che la Direzione tecnica, mentre con ogni sforzo attendeva alla grande galleria, non dimenticava la ferrovia che, staccandosi dalla linea di Susa, deve darle accesso; e procurava così di far camminare di pari passo tutto quanto è inerente al suo difficile cômpito della traversata delle alpi. Lo studio del progetto, che si compiva in campagna nello scorso anno, venne affidato per la parte tra Bardonnèche ed Oulx all'ingegnere Borelli, e per la inferiore parte da Oulx sino alla giunzione con la ferrovia di Susa all'ingegnere Massa.

I progetti essendo pressochè ultimati, non andrà guari che saranno presentati alla superiore approvazione, e dagli elementi di questi stessi progetti ricaviamo i dati che trascriviamo.

Nelle istruzioni impartite ai due ingegneri incaricati degli studi, il principio direttivo, che la Direzione tecnica assunse per guida, fu che la strada dovesse essere acconcia ad un esercizio fatto coi mezzi attualmente in attività sui piani inclinati dei Giovi; e con tale divisamento si accertava di una pratica soluzione d'ogni difficoltà nel futuro esercizio.

Ma nell'esperienza dei Giovi scorgendosi come le pendenze spinte oltre un certo limite, e i raggi delle curve di troppo ristretti rendano tosto grandemente più malagevole l'esercizio della strada, si è stabilito che in ogni caso non si dovesse mai oltrepassare la pendenza del 30 ‰ ed il raggio delle curve non dovesse mai essere inferiore a metri 450.

Questo limite del 30 ‰ che è pure di $^1/_7$ inferiore al limite massimo dei Giovi, non ci parve esagerato per una strada alpina, tanto più che si prescrisse che ne venisse limitato l'impiego ai tratti a cielo scoperto, portando al 25 ‰ la pendenza dei sotterranei di qualche lunghezza; e tanto più ci parve razionale questo limite, che nella ferrovia Vittorio Emanuele il medesimo nella sezione del Rodano verrà certamente raggiunto,

se non oltrepassato, principalmente nella tratta ancora a costrursi tra S.t-Michel e Modane.

Questi limiti non furono oltrepassati mai nei progetti che tosto si presenteranno; anzi il limite di 450 pel raggio delle curve potè in pratica ancora accrescersi, e non si segnarono curve del raggio minore di 500 metri.

La totale lunghezza della strada, compresa fra il punto di diramazione dalla ferrovia di Susa e la stazione di Bardonnèche, è in cifre tonde di 40 chilometri; e la totale differenza di livello essendo di metri 773, si ricava da ciò, che la pendenza media di tutta la linea è del 19,325 per mille. Da questo dato parrebbe, che le pendenze massime avrebbero potuto essere limitate al solo per 25 °/₀₀; ma ponendo mente che la media differenza di livello non è egualmente distribuita su tutta la lunghezza della linea, e che sui primi 21,100 metri si ha una totale differenza di livello di 552 metri e 88 cent., ciò che riduce la pendenza media su questo tratto al 26,203 per °/₀₀, mentre per la restante parte di m. 18,900 la differenza di livello non è che di 220 metri e 12 cent., ossia dell'11. 64 per mille, si scorgerà di leggeri, che il limitare le pendenze al solo 25 per °/₀₀ avrebbe indotto in esagerate spese di costruzione, poichè sarebbe stato mestieri di perdere tutte le facilitazioni che presentano le località assecondandole con quella più forte pendenza che loro è propria.

Si contano nel progetto di questa ferrovia tre gallerie di qualche considerazione: la 1.ª presso Meana di 1,100 metri di lunghezza; la 2.ª presso Exilles di metri 1,170; la 3.ª al luogo detto *Serre de la voute* della lunghezza di metri 1,060; sboccando da questa galleria si raggiunge il naturale livello della Dora, dove finisce il tronco a grandi pendenze, e comincia l'altro a pendenze più miti, nel percorrere il quale la strada segue poi il corso della Dora stessa, tanto altimetrico, che planimetrico, sino a raggiungere Bardonnèche, mantenendosi sempre le pendenze per tutta questa seconda tratta (salvo un'ultima eccezione per accedere alla stazione di Bardonnèche) al di sotto del 24 per °/₀₀.

Vi sono altre tre gallerie di mediocre lunghezza, delle quali la prima, presso la strada dell'Arnodera, ha una lunghezza di 450 metri; la seconda detta *delle Balme*, per riescire nella pianura di Chiomonte, ha la lunghezza

di metri 530; e la terza, ad aprirsi sotto il corso del torrente Royer, e a costruirsi a taglio aperto, ha una lunghezza di metri 460.

Di queste sei gallerie le prime cinque si trovano in pendenza del 25, la sesta su una pendenza del 22,70 per mille.

Altre dodici piccole gallerie di minor conto dobbiamo ancor notare; la loro lunghezza varia nei limiti da metri 70 a metri 270, e di esse più non si è creduto necessario di tenere speciale conto nello stabilire le livellette, le quali vennero appunto fissate secondo che la generale economia del profilo il richiedeva, senza preoccuparsi delle maggiori difficoltà di trazione che s'incontrano in vie sotterranee, pensando che per la loro tenue lunghezza questo maggior inciampo poteva considerarsi come trascurabile; e ciò tanto più che sulle dodici gallerie due sole raggiungono il limite massimo di 270, e queste ancora si trovano in pendenza l'una del 15, l'altra del 23,60 per °/₀₀. Le dodici gallerie sommate assieme dànno una lunghezza di metri 1,790, alla quale aggiungendo la lunghezza riunita delle tre gallerie di maggior conto, e delle altre tre di mediocre lunghezza di metri 4,770, si ha un totale di via sotterranea di metri 6,560, che non arriva al sesto della totale lunghezza della strada.

Tutti i ponti per la traversata della Dora, lungo la valle della quale in definitiva è condotta la traccia della strada, nulla presentano di particolare che meriti di essere accennato; essi per altezza e per ampiezza riescirono quali appena si potrebbero desiderare nella più facile strada di pianura.

La parte più bassa della linea, che scorre in grande pendenza, è quasi sempre appoggiata ai fianchi della montagna, ed abbisogna talora di elevati muri di sostegno, nella vece dei quali si è pensato di sostituire un modulo di viadotto a luci ristrette, e con le pile di dimensioni piuttosto forti, onde poter eseguire le costruzioni coi materiali grossamente sbozzati delle località. — Le luci poi si sono opportunamente allargate alla traversata dei burroni, che avrebbero richieste pile di soverchia altezza; con questo mezzo si provvede meglio, che con alti muri continui, all'economia della spesa, ed alla necessità di dare pronto e libero sfogo agli scoli della montagna; parecchie sono le traversate di alti burroni, nei quali sonosi progettate luci da 15 a 20 metri di ampiezza, ma tutte queste opere, e per la larghezza e per l'altezza, si mantengono nei limiti ordinarissimi.—

Una sola di queste traversate, quella detta della Combascura, assume il carattere d'un vero viadotto, che, per la sua altezza di 54 metri, fu mestieri progettare a due ordini di vôlti; ma riflettendo che ciò succede per una lunghezza di soli 70 metri, nè il costo, nè l'impegno di questa costruzione sarà per riescire soverchio.

Quattro stazioni intermediarie si contano sulla nostra linea, e sono quelle di Meana, Chiomonte, Salbertrand ed Oulx, delle quali solo quella di Oulx può presentare qualche importanza, perchè ivi mette capo la strada internazionale del Monginepro, che è la strada di comunicazione fra il Piemonte ed il sud-est della Francia.

Le altre stazioni, quantunque di poca importanza, serviranno tuttavia ai bisogni della vallata, mentre cadono in modo acconcio alle esigenze dell'esercizio; in fatto sulla tratta a forti pendenze noi troviamo la stazione di Meana a metri 6,300 dal principio della linea; dopo questa stazione, a metri 6,700 troviamo quella di Chiomonte; di qui alla stazione di Salbertrand si contano metri 11,500, ma bisogna badare, che su questa distanza solo sino al *Serre de la voute*, e così pei soli otto primi chilometri la strada si mantiene in forti pendenze, e per gli altri 3,500 metri le pendenze sono assai miti, e quindi riescirà minore lo sforzo di trazione. — Fra la stazione di Salbertrand e quella d'Oulx non vi sono che 4,300 metri, mentre invece fra la stazione d'Oulx e quella di Bardonnèche vi sono 11,200 metri; ma questa maggiore distanza non sarà per influire troppo sull'esercizio, perchè ivi la strada è in minore pendenza; oltre a che su questa tratta si è stabilita una fermata di fronte a Boulard, la quale è quasi precisamente a metà distanza fra la stazione di Oulx e quella di Bardonnèche.

Risulta da questi brevi cenni, che la nostra strada nè per soverchia pendenza, nè per troppa ristrettezza di curve, nè per lunghezza di sotterranei, nè per mole di opere d'arte, esce dagli ordinari limiti delle strade montane, nè conta punti di regresso, nè altri ripieghi eccezionali, dalla esperienza o condannati o non ancora sanzionati, ma tutto in essa entra nei limiti di un sicuro esercizio e di una pratica calcolabile, e non difficile eseguibilità, avuto riguardo alla gigantesca catena delle alpi, della traversata delle quali questa strada fa parte. E ciò se in parte deve

attribuirsi alle condizioni dei luoghi, in gran parte per altro vuolsi considerare come una logica conseguenza del concetto generale della traversata delle alpi, che cioè tutte le difficoltà si avessero a concentrare in una sola, nella scavazione di una lunga galleria per rendere facile e piana la strada di accesso.

A completare questa generale esposizione dei lavori da noi eseguiti sarebbe qui luogo di dare la dimostrazione di tutte le spese fin ora sostenute, e la cifra preventiva di quelle che si avranno ancora ad incontrare per condurre a termine l'opera; ma poichè l' Amministrazione centrale e l' Ispettorato economico tengono in pronto tutti i necessari elementi per ciò fare con ampi schiarimenti e in modo esatto, e con un carattere di controllo, la Direzione tecnica crede conveniente lasciarne loro la cura, e solo si limita a fare talune considerazioni sulle principali cause che maggiormente influiscono sulla elevatezza nei prezzi pei lavori del traforo delle alpi:

1.° I trasporti degli oggetti a quelle alture sono una causa non indifferente di maggior prezzo; a convincersene basta il citare l'esempio, che il trasporto d'una tonnellata di materiali, per la sola tratta da Susa a Bardonnèche, costa non meno di 30 lire. — I frequenti trasporti di oggetti che si mandano dall'uno all'altro imbocco per la strada nazionale del Moncenisio costano in media da 75 ad 85 lire la tonnellata. — Dietro questi dati, ove si ponga mente che i meccanismi ci arrivano dal Belgio con le ferrovie fino a S.t-Michel, e che di quì, quelli destinati a Bardonnèche, debbono coi mezzi ordinari essere trasportati attraverso il Cenisio; che l'acciaio ci proviene dall'Inghilterra e dalla Prussia; il carbon fossile dall'Inghilterra e da S.t-Etienne; e che per l' imbocco sud la calce proviene da Casale, non sarà difficile lo spiegarsi di quante altre spese il prezzo d'acquisto delle materie non venga ad accrescersi prima che siano rese sul luogo del loro impiego.

2.° La stessa novità del sistema fu causa di qualche aumento nelle spese; non però nel senso che le macchine si sieno pagate oltre il prezzo commerciale della mano d'opera, e delle materie che le compongono, conciossiachè non si fecero i contratti definitivi se non dopo che i costruttori e la Direzione tecnica, con appositi esperimenti, si procacciarono dati pratici, onde stabilire

dei giusti prezzi; — ed è tanto vero, che essi non furono esagerati, che i compressori a colonna di Bardonnèche e di Modane, ora che son noti i molteplici lavori che furono necessari per essi, più non potrebbero ottenersi oggi al prezzo del primitivo acquisto. — L'influenza della novità si faceva sentire in ciò, che la necessità di guadagnar tempo dominava tutte le altre questioni, e quando nel combinare i meccanismi si era trovato un concetto che dava una soluzione sicura, esso veniva immediatamente attuato anche colla certezza che non fosse il migliore, e che in avvenire altre soluzioni si sarebbero trovate più efficaci ad un tempo e meno costose; ciò accadde precipuamente nel sistema di compressione.

Il compressore a colonna era appena terminato, che fu congegnato quell'altro a tromba, molto più semplice, che lavora oggi a Fourneaux; di questi se ne sono ordinati nove in più pei due imbocchi, i quali sono capaci di fornire 24 mila metri cubi d'aria compressa al giorno, e costeranno un terzo di meno dei primi compressori a colonna, che solo ne davano 8 mila m. c. — Ecco qual progresso si è ottenuto: tripla quantità d'aria, con un terzo di meno di spesa.

Se appena trovato questo nuovo meccanismo si avesse avuto il tempo di esperimentarlo e di accertarci de'suoi effetti, si avrebbe potuto a Modane lasciare in disparte il compressore a colonna; ma prima che l'esperienza avesse confermato le nostre previsioni non sarebbe stato prudenza il rinunziare al buono certo, per correre dietro al meglio ancora incerto.

3.° Le condizioni di località influiscono anche grandemente nell' aumentare le spese, poichè tutti gli approvigionamenti per la sussistenza degli operai si devono fare da lungi; a Bardonnèche, p. es., si fanno da Susa, e più ancora da Torino; ne nasce da ciò un rincarimento nel vitto; — gli alloggi poi, per quegli operai che abitano fuori dei locali dell'Amministrazione, sono carissimi; da queste cause ne consegue un proporzionale aumento nel prezzo della mano d'opera.

Finalmente la Direzione tecnica non dissimulando, che la totale mancanza d' esperienza in lavori così difficili, pei quali e i libri e la pratica erano muti, dovette far crescere notabilmente le spese di primo stabilimento, può tuttavia asserire, che il tempo fu bene impiegato, e che gli errori non oltrepassarono quel limite, che nei lavori ordinari ed anche

conosciuti si suole adottare per far fronte agli imprevisti. — Frattanto avremo bentosto due chilometri e mezzo di galleria scavata e finita, e le prove fatte in tale lavoro, e l'esperienza acquistata, ci mettono in grado di potere nella rimanente parte a scavarsi compensare con ulteriori sforzi e miglioramenti quell'aumento di spesa dovuto nei primordi dell'impresa alla novità e alla natura stessa del lavoro.

Dovremmo qui por termine alla nostra relazione, parendoci avere discorso con bastevole ampiezza dei lavori affidatici; ma quantunque possa sembrar fuor di luogo ogni altra considerazione, che non abbia tratto diretto alle cose tecniche, il perforamento delle alpi è tale opera, che eccitò siffatte controversie, e dubbi ed opposizioni, che la Direzione tecnica, in uno scritto ove per la prima volta rende conto del suo operato, non può a meno di ricordarsi mercè quai validi appoggi potè dar corpo e vita a quelle idee che parevano a molti folli illusioni.

Il perforamento delle alpi fu uno dei progetti prediletti del Conte di Cavour; a lui si deve ascrivere il primo e maggior onore di un'opera, che egli sostenne con amore assieme al suo collega Pietro Paleocapa, e che ebbe sempre a destare nella vasta mente di lui un senso di contentezza, scevro d'ogni contrasto ogni qualvolta egli nella sua antiveggenza scorgeva conseguita la soluzione finale dell'apertura delle alpi. — Nel suo vivo desiderio di vedere le prime applicazioni delle perforatrici ci fissava il giorno 6 giugno 1861 per visitare i lavori; ma a quella infausta data egli cessava di vivere. E sulla tomba di lui deponiamo il mesto e pietoso omaggio dei primi successi.

Ad un altro estinto, al nostro antico maestro, Ignazio Giulio, dobbiamo un tributo di grazie. Egli contribuì molto a far nascere e a mantenere viva la speranza di un felice successo dell'impresa coi suoi consigli prima, poscia con quello scritto, nel quale, rendendo conto dei lavori della Commissione, egli con tanta scienza e lucidezza d'idee esponeva le ragioni della propria convinzione.

Il Generale Menabrea fu quegli che, appena visti i primi schizzi del sistema, ne travide tosto la possibilità pratica. — L'opinione dell'illustre scienziato ebbe gran parte in quella fiducia, che dell'impresa concepiva il

Conte Cavour; egli sostenne il progetto nella Camera dei Deputati e nelle assemblee scientifiche, ribattendo i dubbi ipotetici coi fatti raccolti in esperimenti nuovi, eseguiti su grande scala, e studiati da vicino da lui stesso.

Non ha guari egli in un applaudito discorso esponeva le vicende principali dell' impresa e le difficoltà oramai vinte, e dimostrava entro quali limiti di tempo, anche nelle peggiori ipotesi, possono compiersi i lavori; — solo ommise di dire quale e quanta parte egli ebbe nelle discussioni e controversie alle quali il progetto diede luogo, e di qual valore fu l'appoggio del suo nome; ma noi non potevamo dimenticarlo, e tanto meno dopo che le parole di lui furono accolte dalla Camera Italiana con quel simpatico favore, che già il Conte di Cavour parlando di quest' opera incontrava nella Camera Piemontese. — Quel discorso e il voto della Camera furono per tutto il personale addetto ai lavori una ricompensa pel passato, ed un eccitamento a nuovi progressi.

Torino, aprile 1863.

La Direzione Tecnica

S. GRANDIS.
S. GRATTONI.
G. SOMMEILLER, Relatore.

APPENDICE

Il vivo interesse, che destò fin dal principio l'impresa del traforo delle alpi, fece nascere, principalmente ne' tecnici, il desiderio di vedere in qualche modo spiegati i mezzi nuovi, che si volevano applicare a quel lavoro, tanto riguardo alla compressione dell'aria, quanto rispetto al metodo di perforazione. Finora li unici documenti resi pubblici furono: 1.° la descrizione del compressore a colonna; 2.° quella della perforatrice, ambedue facienti parte essenziale della relazione della Commissione governativa, che giudicò i modelli della Coscia. Diversi periodici dell'estero diedero pure delle descrizioni delle macchine, ma generalmente non troppo esatte; v'è di più: le macchine del traforo, nel loro attuale stato, se in ordine ai principii fondamentali non differiscono dalle macchine esperimentate alla Coscia, nei particolari però, e nel congegno generale, se ne diversificano a segno, che la descrizione di queste malamente a quelle si conviene.

Noi non abbiamo mai voluto sottrarci all'obbligo, quasi d'onore, che ci incumbeva verso i nostri colleghi, sì nazionali che esteri, di sottomettere al loro giudizio le novità, che abbiamo introdotte nel dominio degli ingegneri; ma pensavamo, e con ragione, che un maggior dovere per noi era quello di condurre queste novità a tal punto di pratica applicazione e di utilità, che altro non rimanesse che viemmeglio perfezionarle, e ricercare nella industria in generale a quali casi sarebbe opportuno il farle servire.

Dopo un anno e mezzo di lavoro regolare, in cui le principali vicende, alle quali le macchine vanno soggette, hanno potuto presentarsi, e i difetti e le qualità manifestarsi, credevamo giunta l'opportunità di pubblicarle.

E di già si era principiato a raccogliere i dati e i documenti necessari, e si era divisato di intraprendere una serie di esperimenti, diretti a mettere in maggior luce i risultati già accertati dalla Commissione governativa sul deflusso dell'aria compressa discorrente in lunghi tubi, sull'effetto utile e relativo delle macchine comprimenti, sulla perforazione meccanica, ecc., ecc., onde rendere il più possibilmente l'opera completa sia dal lato descrittivo e teorico, che dal lato esperimentale e tecnico.

Di un tale lavoro devono far parte i disegni di tutti i meccanismi nello stato a cui sono oramai condotti, cioè con tutte le variazioni e perfezionamenti dovuti alla esperienza acquistata, non che vari studi sulle applicazioni dell'aria compressa, e sulle molte modificazioni che dovrebbero introdursi nelle macchine per viemmeglio adattarle alla varietà dei casi.

È facile lo scorgere come un così fatto lavoro richiegga e un tempo non breve, e fatiche d'ogni specie, e come mal si poteva far camminare di fronte con la direzione materiale delle opere; anzichè dedicarci ad esperimenti scientifici di assai delicata e difficile esecuzione, se si vogliono fatti, come è necessario lo siano, senza nè interrompere, nè incagliare l'andamento dell'impresa, era necessario in prima spingere tutto il sistema a quello stato di pratica perfezione col quale fosse assicurato il regolare progresso dei lavori; finchè non si fosse giunti a questo principale scopo, non si sarebbe potuto discorrere d'altro che delle mille difficoltà e fastidi incontrati ad ogni passo nei primordii, difficoltà e fastidi che poco importano a chi in materie tecniche ed industriali vuole anzi tutto i risultati pratici ed utili.

A compiere un tale lavoro non ci vuole meno di un anno e mezzo a due anni; ma questo lasso di tempo parve troppo lungo all'illustre Generale, Ministro dei lavori pubblici, il quale desiderava, che con la prima relazione venissero pubblicati almeno i principali documenti tecnici della intrapresa opera. Per assecondare un tale desiderio si fece subito por mano alla esecuzione dei disegni, che fan seguito a questa appendice. Essi sono una riproduzione esatta, per quanto lo permette la picciolezza della scala, dei primi disegni esecutivi. È vero che nei meccanismi si sono introdotte da poi varie modificazioni nei particolari per agevolarne il lavoro, e per rimediare a quei difetti che l'esperienza faceva di mano in mano comparire; ciò non ostante però tutte le essenziali disposizioni di principio e di convenienza rimasero inalterate.

Con l'aiuto di questi disegni daremo ora la descrizione dell'operare di ciascuna macchina, ommettendo tutto quanto ha tratto alla teoria matematica di esse, ed allo esame critico dei risultati ottenuti, riservandoci di ragionarne distesamente nel lavoro speciale cui stiamo preparando.

Tutte le macchine del traforo delle alpi furono costrutte nelle officine della Società John Cockerill a Seraing.

Il direttore, signor Gustavo Pastor, contribuì non poco alla esatta e celere esecuzione dei piani, addimostrando sempre il più vivo interessamento al buon successo dell'impresa, e da parte sua nulla ommettendo per coadiuvarci.

Sin dal principio ebbimo a nostra disposizione e locali e personale per li studii preliminari. E in questo stesso stabilimento incontrammo un ingegnere di rara capacità e scienza, il signor Giovanni Kraft, prima professore supplente alla scuola politecnica di Vienna, ora ingegnere al servizio della Società Cockerill. Alla zelante cooperazione di questo egregio e valente ingegnere siamo in gran parte debitori del tempo prezioso guadagnato nel celere studio dei meccanismi di Bardonnèche e Modane, studio alle cure di lui specialmente affidato. E nella circostanza di questa prima pubblicazione ci è grato di fare all'Amministrazione meritata menzione di chi in quei lavori ebbe parte importante sia come calcolatore, sia come disegnatore ed esecutore.

Le macchine, delle quali si dà la spiegazione, sono in numero di tre:

1.ª Il compressore a colonna;

2.ª Il compressore a tromba;

3.ª La perforatrice.

Pel primo si dànno tre tavole di disegno, due delle quali addimostrano tutti i principali e secondari accessorii del sistema, l'altra è meramente ausiliare per la spiegazione del funzionamento; pel compressore a tromba e per la perforatrice si dànno due tavole di disegno per ciascuna macchina, l'una complessa, l'altra ausiliare rispettivamente.

Oltre a queste sette tavole di disegno ancora tre altre se ne aggiungono per dare il più possibilmente una idea completa di tutto l'assieme dei lavori del traforo.

La prima comprende il piano generale della località e la sezione longitudinale del traforo, l'altra, che porta il N.° VI, contiene l'affusto o carro delle perforatrici, spinto contro la fronte d'attacco; la terza finalmente, che ha il N.° VII, addimostra l'ordine con cui si succedono i vari lavori in galleria. Ed a proposito di queste tre tavole non si credono fuor di luogo li schiarimenti che seguono:

Tavola N.° I. — Questa tavola contiene il piano generale della località in iscala di 1 : 25,000. Esso fu ridotto con la fotografia da un altro in iscala di 1 : 10,000 che si tiene ad uso degli uffici, e che fu compilato con memorie direttamente prese in campagna e con l'aiuto di altri piani preesistenti, e di quelli particolareggiati che si dovettero fare pei vari lavori di costruzione. Malgrado la picciolezza della scala si scorgono tuttavia i vari fabbricati innalzati ai due imbocchi, e le varie disposizioni dei cantieri.

L'asse della galleria, nella parte che marca la lunghezza da scavarsi, fu segnato

con doppia linea con tratti pieni e vuoti alternati; dopo delle due bocche l'asse è segnato con linea semplice tratteggiata, e dal lato d'Italia attraversando il Rochemolles passa per l'osservatorio e viene ad arrestarsi al segnale di Beauvoir; dal lato di Francia, attraversato l'Arc, l'osservatorio, ed un segnale sussidiario detto Pietra-bianca, non s'arresta che al lontano segnale dei *Sapins*, collocato tanto in alto nelle falde dei monti, di contro all'imbocco nord, da essere veduto dall'osservatorio del Grand-Vallon.

Nella sezione i punti singolari del profilo della montagna sono segnati con le lettere *A. B. C. D* . . . . *S. T. U* . . . . e le lettere *B. O. T* indicano i tre osservatori.

L'osservatorio *O*, posto sull'alto della montagna, serve per verificare e controllare l'allineamento esterno; gli osservatori *B. T* servono a ripetere nell'interno della galleria l'allineamento esterno a misura dell'avanzamento dei lavori. A questo scopo dentro ciascun osservatorio sta infisso un cannocchiale costrutto appositamente, e girevole attorno un asse orizzontale e normale all'asse del traguardo; e l'osservatore accertatosi che il centro dell'istromento coincide col punto segnato sulla tavola di pietra, sulla quale l'istromento è posato, e fatte le debite verificazioni al cannocchiale rivolge il traguardo al segnale *F* (*Lachalle*) dall'osservatorio *B*, ed al segnale S dallo osservatorio *T*; inclinando quindi convenientemente il cannocchiale viene a fissare dei punti in galleria mediante dei lumi tenuti come scopo, i quali punti devono necessariamente essere contenuti nel piano verticale passante pei punti esternamente individuati, poichè l'asse del cannocchiale è appunto contenuto in questo piano.

Dalla sezione longitudinale appare la varia inclinazione assegnata alla galleria, la quale pende dalle due parti dall'indentro all'infuori.

La valle del Rochemolles essendo più elevata di quella dell'Arc (dove vengono attraversate dall'asse del traforo) di circa 240, questa differenza di livello avrebbe potuto superarsi assegnando alla galleria una pendenza unica verso l'Arc di 20 millimetri all'incirca per ogni metro. Ma è facile lo scorgere come una tale disposizione avrebbe seriamente incagliato i lavori dall'entrata sud per le difficoltà dell'estrazione dell'acqua e delle materie, e di quanti ritardi ciò non sarebbe stato causa nella esecuzione dei lavori. — Una tale disposizione fu messa in disparte per adottarne un'altra, mediante la quale le acque avessero uno scolo naturale; fissata l'entrata sud al piano della valle del Rochemolles, ed alla quota di 1335, 38 la livelletta ascende verso l'interno della montagna di metri 0,50 per mille metri, sino a raggiungere verso la metà della galleria la quota di 1338, 45; di quì la livelletta discende verso l'Arc di metri 22, 20 per mille metri, ed esce dal sotterraneo con una altezza ancora di metri 106 incirca sul fondo della valle, per guadagnare la quale si fa necessario di rimontare il torrente e girare attorno all'abitato di Modane, come appare dal piano; per facilitare i tracciamenti e l'aereazione del sotterraneo la galleria è costrutta in linea retta, ma per raccordarla con l'andamento

delle due valli di Rochemolles e dell'Arc dall'interno di essa si distaccheranno appositi tronchi curvilinei, dei quali quello di Bardonnèche è di già ultimato nella parte in cui le due gallerie sulla tangente e sulla curva mantengono ancora una tale distanza da riescire indipendenti l'una dall'altra; i lavori per la restante parte e per tutta la galleria di raccordamento a Modane sono ancora da eseguirsi.

Tavola VI. — Si è di già accennato nel corso della relazione in che consiste l'affusto delle perforatrici, e come si facciano le manovre per avvicinarlo alla fronte d'attacco, e per rimuoverlo e condurlo dietro le porte di sicurezza quando si fanno scoppiare le mine. La *tavola VI* rappresenta appunto questo affusto, e la figura *affusto visto di fianco* lo fa vedere di contro alla fronte d'attacco mentre le perforatrici sono in piena attività; di queste, per non fare confusione nel disegno, non se ne segnarono che quattro, ma nella figura *affusto visto di fronte* se ne scorgono nove; tale essendo appunto il numero delle perforatrici che in giornata si tengono in azione ad una volta. Ciascuna perforatrice porta due tubi flessibili, dei quali uno per l'acqua mette capo al tubo di distribuzione che sta sopra il montante presso le ruote dentate, e che è chiaramente addimostrato dalla sezione *E. F* con tutti i suoi dieci rubinetti; l'altro per l'aria compressa viene ad unirsi ad un altro tubo di distribuzione, che parimenti porta dieci rubinetti, e che nell'*affusto visto di fianco* appare di prospetto nell'alto e verso la metà dell'affusto stesso.

L'apparecchio di distribuzione dell'acqua, fisso sull'affusto, si mette in comunicazione mediante un tubo flessibile coi serbatoi dell'acqua, che stanno su apposito carro subito dietro l'affusto; serbatoi, che alla loro volta si mettono in comunicazione con la condotta dell'aria compressa onde imprimere all'acqua la necessaria forza di proiezione allorchè viene lanciata nel foro che scava la perforatrice, onde tenerlo sgombro dalla polvere, ed impedire il riscaldamento dello scarpello.

Al tubo di distribuzione per l'aria compressa ne vanno annessi altri due in ferro, che si prolungano in alto dell'affusto fino all'estremità di destra; sono questi tubi che si accoppiano mediante tubi flessibili da 5 a 6 metri di lunghezza con le due condotte laterali dell'aria compressa che stanno sul fondo della galleria, e coperte con detriti di roccia per salvarle dall'esplosione delle mine; fatto un tale accoppiamento l'aria entra nel tubo di distribuzione, e mediante il maneggio di apposito rubinetto ciascuna perforatrice può ricevere la forza motrice od esserne separata.

Nella parte più elevata dell'affusto si scorge un ultimo tubo longitudinale; questo serve per la distribuzione del gaz, e questo a sua volta viene messo in comunicazione con l'apposita condotta che scorre parallela a quella dell'aria compressa.

Nell'estremità di sinistra, dove stanno le perforatrici, appare tutto il congegno di montanti, viti, traverse, per dare alle macchine tutte quelle differenti direzioni che si ravvisano più convenienti ad un buon effetto delle mine; da questa stessa parte

vi sono lateralmente due piccole scale in ferro, scorrevoli lungo l'asta superiore a cui sono appoggiate, e servono di facile comunicazione alle parti superiori.

Una delle due ruote d'avanti è dentata, e mediante un rocchetto ed un volante a manubrio può tutto il carro essere posto in movimento a braccia d'uomo.

La parte dell'affusto fra gli assi delle ruote è utilizzata pel deposito delli scarpelli di scorta, e di tutti gli altri utensili necessari per la perforazione, e nell'ultima estremità havvi la morsa, che serve per la riparazione ai guasti di poca entità, che si manifestassero nei meccanismi, e che si avesse a fare d'urgenza.

Tavola VII. — Questa tavola indica il succedersi dei vari lavori in galleria; le tre sezioni, *ad opera finita*, *interamente scavata*, *ed in corso di scavazione*, sono nella scala di 1,100; tutte le altre figure della tavola sono in iscala di 1,200; l'affusto con le perforatrici viene spinto fino al fondo della galleria (vedi estremità di destra delle due figure *pianta e sezione longitudinale*) e con le macchine si scava una sezione, quale è rappresentata dalla figura *sezione dell'avanzamento*; questa sezione viene armata con quadri in ferro e con tavoloni ogni qualvolta la poca saldezza della roccia lo renda necessario; la disposizione di questi quadri e tavoloni è indicata dalla sezione in traverso dell'avanzamento e sezione longitudinale.

A misura che il lavoro d'avanzamento procede, si prolunga il binario principale, il piccolo binario laterale su cui si fanno scorrere i vagoncini del detrito, e le condotte laterali dell'aria compressa, non che la condotta del gaz e dell'acqua.

Parimenti si prosegue la scavazione del canale di scolo onde trasformare la *sezione dell'avanzamento* nell'altra con *il canale di scolo.*

Per passare poi da questa sezione a quella interamente scavata, *la sezione in corso di scavazione* mostra le disposizioni adottate all'uopo.

Nella estremità della piccola galleria opposta a quella in cui lavorano le macchine si comincia a sostituire ai quadri in ferro dei quadri più forti formati da travi, sovra i quali si colloca un robusto tavolato di ascialoni; con questo tavolato si mantiene sempre libero e sicuro l'accesso alla piccola galleria.

La pianta, *la sezione longitudinale*, e quella in traverso in *corso di scavazione* fanno vedere la disposizione di questi quadri, e della via coperta sopra la quale i minatori stanno lavorando alla calotta della grande sezione per compierne la scavazione; a misura che questa procede, ed ove la cattiva natura della roccia il richiegga, il cielo della galleria viene armato e sostenuto nel modo che appare nella *sezione interamente scavata*; scavata così una breve tratta di quattro a cinque metri, i quadri ed il tavolato che copriva la piccola sezione vengono rimossi, ed allora più altro non resta che ad esportare i due massicci laterali di roccia dell'altezza di circa tre metri, che, essendo attaccabili di fronte, di fianco e dall'alto, possono con più facilità venire scavati; e questa scavazione la si prosegue allargando sempre la sezione sino a che si sia

fatto luogo ai piedritti del rivestimento, che si eseguiscono appunto di mano in mano che la scavazione del sito che devono occupare si compie. Terminati i piedritti il lavoro prende l'aspetto che appare dalla figura *sezione interamente scavata*.

E nelle tratte portate a tale punto di lavoratura più altro non rimane a farsi che collocare a sito le centine e fare il vôlto di rivestimento, il quale ultimato, e rimosse le centine, la sezione diventa interamente finita, salva la muratura al canale di scolo. Tutti i lavori dei quali si è parlato si procura di farli procedere con tale ordine, onde tutti mantengano a un di presso la distanza rispettiva che appare nella *sezione longitudinale*. Allora avviene, che dopo un certo lasso di tempo tutti i lavori avendo progredito, si ha un tratto di galleria finita (salvo la muratura dell'acquedotto) interamente sgombro, e quando questo tratto raggiunge la lunghezza di circa 200 metri, allora le condotte dell'aria, dell'acqua, del gaz, che erano nel canale di scolo, si estraggono e si collocano sovra mensole in ferro lungo il piedritto in continuazione delle preesistenti, e nella nuova tratta di canale scavato nella piccola sezione si viene ancora ad immettere una pari lunghezza di condotte, le quali alla loro volta vengono messe in comunicazione con le piccole condotte laterali, che si erano fatte molto lunghe, e che così vengono ridotte alla lunghezza che a un di presso hanno nel disegno (pianta).

Si prolungano al tempo stesso i due binari, ed il cambiamento di via viene trasportato alla testa della galleria ultimata.

Allora in questa tratta si procede al rivestimento in muratura del canale di scolo, spostando all'uopo convenientemente i binari, per rimetterli a sito una volta finito il rivestimento del canale.

E con quest'ultima operazione tutti i lavori riprendono l'ordine e l'aspetto che hanno nelle varie figure della tavola, salvo che si sono inoltrati appunto nella montagna di circa 200 metri.

Tutti i lavori per altro non procedono sempre rigorosamente nell'ordine descritto, il quale deve modificarsi secondo che i bisogni del servizio lo richieggono; così, ad esempio, se nello scavare la calotta la roccia non presenta una sufficiente sicurezza da poter essere sostenuta da semplici puntellamenti, viene tosto rivestita con vôlto prima che vengano scavati i massicci laterali e si formino i piedritti; e quando le piccole condotte laterali si fanno troppo lunghe, da lasciar temere per questo fatto una diminuzione di tensione nell'aria compressa, allora si prolunga tosto la grande condotta che sta sul fondo del canale per quella tratta per la quale appunto avrà progredito la scavazione del canale stesso.

E così ancora avvenendo, che il cantiere di avanzamento progredisca più che il cantiere della grande sezione, e che la distanza che li separa tenda a farsi sempre più grande, allora nell'interno della piccola sezione, e a quella più breve distanza dalla fronte d'attacco che si giudica non possa incagliare i lavori d'avanzamento, si

stabilisce un attacco intermedio in grande sezione, e con questo e con l'attacco principale (che dopo un certo tempo raggiunge l'attacco intermedio, il quale allora diviene egli stesso attacco principale) si tiene dietro al progredire dell'avanzata.

Malgrado queste ed altre variazioni che si introducono nell'ordine dei lavori in galleria, tuttavia la tavola VII se non è l'espressione letterale di ciò che sempre succede, rappresenta per altro quel normale ordine, a mantenere il quale ognora si tende nella condotta dei lavori in galleria.

Spiegate così queste tre tavole, passiamo ora a descrivere l'operare delle macchine comprimenti e della perforatrice.

1.°

COMPRESSORE A COLONNA.

(Tavole I, III, VIII).

La tavola II mostra in elevazione un compressore completo, esattamente conforme per la disposizione generale a quello che funziona a Bardonnèche. Il serbatoio *C*, mantenuto sempre al medesimo livello al dissopra dell'imbocco della colonna di compressione *B. B*, serve ad un tempo all'alimentazione di dieci compressori eguali. Il tubo *D. D. D. D* mette in comunicazione il recipiente dell'aria compressa col serbatoio regolatore posto a 50 metri al dissopra del piano regolatore; questo serbatoio può contenere sino a 400 metri cubi d'acqua.

La tavola III rappresenta lo spaccato verticale per l'asse di un compressore assieme al motore, ed al sistema delle trasmissioni, inserviente al governo delle valvole; per intendere ora la spiegazione del giuoco della macchina si tenga sotto occhio la tavola VIII, nella quale la macchina è riprodotta nelle sue parti essenziali ed in iscala maggiore. Non si perda di vista, in quanto siamo per dire, che la colonna comprimente *A. A. A* continua senza interruzione (*Tavola VIII*) dalla camera di compressione *B* a partire dal livello *P. P* fino al serbatoio d'alimentazione *C* (*Tavola II*).

Ciò posto, veniamo alla spiegazione degli organi:

1.° La valvola *E*, detta di alimentazione, si muove verticalmente, ed è governata dal regolatore *D* (*Tavola III*); essa è cilindrica. La colonna di compressione cilindrica sul rimanente del suo sviluppo prende una forma anullare nel sito dove è collocata la valvola d'alimentazione, e l'acqua di compressione, invece di proseguire il cammino seguendo l'asse della colonna e conservando la forma cilindrica, si trasforma in una vena anullare che discorre all'esterno della valvola *E* per ricomporsi di nuovo in vena cilindrica al dissotto; la sezione della vena anullare è stata presa equivalente alla sezione della colonna comprimente, di modo che la sezione della colonna comprimente è costante per tutta la sua lunghezza.

La valvola *E* è supposta aperta nella tavola VIII, e la colonna di compressione

non interrotta agisce sull'aria contenuta nella camera *B*; suppongasi ora che la valvola *E* s'innalzi e chiuda lo spazio anullare: tutta la parte della colonna di compressione, posta al dissopra della valvola *E*, sarà per così dire sospesa, e non potrà più agire sulla parte inferiore, la quale potrà così essere considerata come indipendente dalla superiore, e ciò finchè durerà la chiusura della valvola *E*. Si vede con ciò, che l'ufficio della valvola *E* è di dare o di togliere il moto alla colonna di compressione, secondo che schiude o chiude lo spazio anullare nel quale si muove.

Supponiamo chiusa la valvola *E*, e sospesa così l'azione della colonna comprimente, e veniamo alla valvola *F*. Questa valvola è del pari cilindrica, e si muove verticalmente, aprendo coll'innalzarsi gli orifici laterali della vasca di scarico, e chiudendoli coll'abbassarsi. Sollevata la valvola *F*, tutta la parte della colonna di compressione, inferiore alla valvola *E*, trovasi insieme alla camera *B* in comunicazione coll'atmosfera; ne conseguita che l'acqua in *M. M* ed in *B* prenderà naturalmente il livello *P. P* determinato dal livello dell'acqua nel canale di fuga *N*, e nella vasca *M. M*. Allora tutta la parte *B* (camera di compressione) sino al livello *P. P* sarà piena d'aria atmosferica; la parte della colonna d'acqua comprimente contenuta nel sifone sotto la valvola *E*, e nello spazio anullare, non subirà altra pressione che l'atmosferica.

La valvola *E* rimane chiusa per tutto il tempo che la *F* impiega a fare la sua doppia corsa, e reciprocamente. Se mentre la *E* è aperta si aprisse anche la *F*, è evidente che l'acqua della colonna comprimente fuggirebbe con grande impeto dagli orifizi laterali di *M. M*.

La valvola *G* posta in cima alla camera di compressione è quella che, sollevandosi, lascia passar l'aria, dopo che è stata compressa, dalla camera *B* nel recipiente *D*, ed abbassandosi in seguito ne impedisce il ritorno.

Le valvole *H. H* sono quelle che, aprendosi dall'infuori all'indentro, dànno adito all'aria atmosferica chiamata nella camera *B* dall'acqua, che, dopo fatta la compressione, si versa nel canale di fuga attraverso la valvola *F*.

Le valvole *h. h. h*, ecc. (ossia *clapets*) hanno una destinazione che spiegheremo più oltre. Per ora le supporremo tutte chiuse, mentre nella figura sono chiuse solamente quelle sommerse nell'acqua.

Ci riesce ora facile intendere il funzionamento della macchina. Supponiamo chiusa la valvola *E*, chiusa la *F*, ed il livello dell'acqua in *P. P* nella camera *B*; questa, piena d'aria naturale, e chiusi i *clapets H. H*, si lasci ora cadere la valvola *E*, la colonna di compressione *A. A. A. A* entrerà immediatamente in azione, si solleverà nella camera *B*, comprimendo l'aria ivi contenuta; l'aria si comprimerà sino a tanto che abbia acquistata una tensione bastante a sollevare la valvola *G*, ed allora l'aria sarà cacciata nel recipiente *D*, l'acqua salirà sino a lambire la valvola *G*, ed ivi avrà perduta tutta la sua velocità; inferiormente la valvola *G* non soggiacerà più che

alla pressione statica della colonna comprimente, mentre superiormente sarà premuta con tutta la pressione dell'aria cacciata nel recipiente *D*, equivalente nel caso nostro al doppio della pressione statica della colonna *A. A. A. A.*

Ecco che tutta la colonna comprimente, dall'origine sino alla valvola *G*, è in riposo. Chiudiamo ora, sollevandola, la valvola *E;* la parte della colonna comprimente superiore alla *E* non avrà più azione sulla parte inferiore: apriamo la valvola *F*, e tosto l'acqua di compressione contenuta in *B* sgorgherà in *M. M*, e poi si verserà nel canale *N;* i *clapets H. H* si apriranno, e l'aria naturale subentrerà all'acqua nella camera *B* sino a che l'acqua, discesa al livello *P. P*, vi perda il suo moto; allora tutto il sistema è nuovamente in riposo, ed è pronto a compiere una seconda pulsazione; perciò si chiuda la *F*, e si apra la *E*, e la stessa evoluzione or ora descritta si ripeterà, e così indefinitamente. Il giuoco delle valvole *F* ed *E* è regolato dallo aeremotore *D* (*Tavola III*), il quale governa l'asse maestro *F*, su cui sono infissi eccentrici di forma speciale, che producono il moto verticale delle valvole a tempo opportuno.

Il risultato ottenuto in una pulsazione è la compressione, e poi l'imprigionamento nel recipiente *D* di tutta l'aria naturale che era contenuta nella camera *B* dal livello *P. P* sino alla valvola *G*. Questo risultato si è ottenuto mercè una colonna d'acqua di determinata altezza, sezione e forma, la quale, partendo dal riposo, percorre con velocità variabile uno spazio definito, al limite del quale la colonna, perduta tutta la sua velocità, ritorna nuovamente al riposo, dopo aver fatto passare nel volume dell'aria da essa compressa il lavoro prodotto tra l'istante iniziale e l'istante finale del moto.

Abbiamo supposto sinora, che la colonna comprimente partendo dal livello *P. P* per sollevarsi nella camera *B* incominciasse subito a comprimere l'aria in questa contenuta, e questa supposizione dà, per così dire, lo stato normale di lavoro della macchina, e da essa derivano le condizioni, alle quali deve soddisfare il compressore per giungere al maggiore effetto utile industrialmente ottenibile, condizioni, che riguardano le relative altezze della colonna comprimente e della camera *B*. Non vogliamo per ora entrare in veruna spiegazione teorica, ma avvertiamo che il Conte di Saint Robert, conosciuto in Italia e fuori per molti altri lavori scientifici, pubblicò non ha guari nella raccolta francese, *Annales des mines*, uno studio matematico sul compressore a colonna, ed a questo rimandiamo chi desiderasse conoscere più intrinsecamente la nuova macchina.

Una volta che fosse stabilito un compressore con una camera *B* di altezza corrispondente ad una colonna comprimente del pari determinata, l'aria non si potrebbe più comprimere ad una tensione maggiore di quella che corrisponderebbe a quei dati, e questo sarebbe un inconveniente. Ma i limiti d'azione utile del compressore si possono allargare di assai, ed a segno che il grado della compressione più non

dipenda dall'altezza della colonna comprimente, e ciò si ottiene nel modo che ora spiegheremo.

Dal livello *P. P* sino alla valvola *G* la camera di compressione presenta una capacità costante. La colonna comprimente *A. A. A* partirà sempre dal livello *P. P*, e dal riposo, per ritornare al riposo, quando è giunta a lambire la valvola *G*. L'effetto prodotto dalla colonna acquea tra il principio ed il fine del moto è una quantità determinata di lavoro meccanico, il cui limite massimo può rappresentarsi dal prodotto del volume d'acqua corrispondente alla capacità della camera *B*, moltiplicato pel peso unitario dell'acqua, e per l'altezza della colonna di compressione diminuita della metà dell'altezza della camera *B*. Ora questo lavoro determinato si concentra nel giuoco normale del compressore in un volume d'aria naturale, eguale alla capacità della camera, e compressa alla tensione che si è voluto ottenere. Ma essa si può concentrare in un volume minore purchè l'aria venga compressa ad una tensione maggiore, e ben si vede come il lavoro da concentrarsi rimanendo costante, tanto più elevata dovrà essere la tensione finale dell'aria, quanto minore sarà stato il volume iniziale d'aria naturale da comprimersi. Da ciò conseguita, che rimanendo costanti e l'altezza della colonna comprimente, e l'altezza della camera di compressione, si potrà collo stesso compressore ottenere aria con tensioni elevate quanto si vorrà, purchè si ammetta nella camera di compressione solo quel volume d'aria naturale, il quale, per assorbire tutto il lavoro della colonna, dovrà prendere la tensione corrispondente. Si raggiunge questo scopo mediante un semplicissimo congegno. La camera *B* si riempie intieramente d'aria naturale dal livello *P. P* sino alla valvola *G*, ma invece di disporre che la colonna comprimente comprima l'aria a partire dal livello *P. P* si pratichi per l'aria quello che si pratica per l'acqua nell'ariete idraulico, e se ne lasci fuggire quella data quantità di cui si vuol diminuire il volume della camera *B*, e la compressione si operi sul rimanente. A ciò servono i *clapets h. h. h ... Tavola VIII.* Queste piccole valvole sono pendenti, e tenute aperte dal proprio peso, ma si possono chiudere interamente, e ridurre così il compressore allo stato normale. Se ne può chiudere un determinato numero, e lasciar le altre libere ; e la camera *E* potrebbe anche essere armata di queste valvole su tutta la sua altezza.

Supponiamo ora la colonna comprimente discesa al livello *P. P*, e pronta ad una pulsazione; se tutti i *clapets h. h. h* fossero chiusi, la pulsazione sarebbe normale, e conforme a quanto fu già detto; ma se i *clapets* sono liberi, avverrà che l'aria spinta dalla colonna non si comprimerà, ma fuggirà in parte dai *clapets* ; giungendo l'acqua rimpetto ai *clapets*, essa, per causa della sua densità maggiore, li chiude successivamente, e, quando trovasi chiuso l'ultimo, la colonna comincia a comprimere l'aria sovrastante, la quale trovasi ridotta ad un volume tanto più piccolo del volume iniziale, quanto più l'ultimo *clapets h* sarà posto vicino alla sommità della camera *B*. Il moto della colonna comprimente si estinguerà intieramente come nella pulsazione normale,

e si sarà ottenuto un volume d'aria compressa ben minore, ma ad una tensione più grande. Dalle cose dette si vede:

1.° Che essendo dato un volume d'acqua con un' altezza determinata del battente, e volendolo impiegare a comprimere aria con la macchina in discorso, si troverà prima quella miglior proporzione che sarà conveniente di dare all' altezza della camera di compressione, ritenendo la sezione equivalente per tutta la lunghezza della macchina, e questa sarà la disposizione normale, quella che darà il maggior volume d'aria compressa con la tensione minima;

2.° Che volendosi accumulare aria sotto pressioni più elevate, si otterrà lo intento mediante una conveniente serie di valvolette pendenti, disposte lungo la generatrice del cilindro della camera, oppure disposte sopra una spirale, od infine con ogni altro mezzo, che permetta di lasciar fuggire l' aria nella quantità che si vuole, e sia regolato dal moto stesso ascendente della colonna comprimente. Tale è il compressore nelle sue essenziali disposizioni; la teoria matematica di questa macchina dimostra che essa, fra tutte quelle che si potrebbero adoperare alla compressione dell'aria ad alta tensione, darebbe il maggior effetto utile; ma non dobbiamo tacere che essa richiede ancora studi speciali e prolungati per raggiungere quel grado di semplicità e di vera utilità industriale di cui è capace. I compressori stabiliti al traforo delle alpi, abbenchè abbiano corrisposto allo scopo principale prefisso, non dovrebbero essere copiati ciecamente in altre circostanze, nelle quali non si avesse un interesse predominante e superiore alle quistioni tecniche secondarie. Le condizioni eccezionali di volume d'acqua e di caduta ch'essi richieggono ne limitano l'uso a casi speciali; ma verificandosi questi casi, e reso più spedito e più maneggevole il funzionamento delle valvole con migliori disposizioni, non vi è dubbio che se ne possa trarre un utile partito.

Pel regolare e normale andamento del compressore egli è necessario che la tensione dell'aria nel recipiente *D* rimanga pressochè costante. Diffatti se la tensione diminuisse di troppo, allora la valvola *G* si solleverebbe prima che l'aria avesse acquistata nella camera *B* la tensione normale, e la colonna comprimente arriverebbe non più a lambire la valvola con una velocità nulla, ma con una velocità tanto più grande, quanto sarebbe stata maggiore la diminuzione di tensione nel recipiente *D*, e ne conseguirebbe un urto più o men violento.

Se al contrario la tensione *D* aumentasse, allora la colonna comprimente spegnerebbe la sua forza viva nel comprimere l'aria della camera ad una pressione maggiore della normale, ed una parte d'aria solamente, e sempre minore ad ogni pulsazione, passerebbe nel recipiente *D*, nel quale crescerebbe la tensione sino a quando la valvola *G* non potendo più venir sollevata, la pulsazione finirebbe a convertirsi in una serie di oscillazioni improduttive.

Per mantenere sempre costante la tensione nel recipiente *D*, un mezzo sempre

applicabile si è di regolare l'efflusso dell'aria dal recipiente *D* conformemente al prodotto del compressore, e questo mezzo può essere attuato in tanti modi diversi, secondo i casi, ma non è qui il luogo di farne parola.

Un altro modo, non applicabile se non nelle località montuose, è quello di avere un conveniente numero di recipienti, nei quali si mantiene la pressione costante, mediante un serbatoio d'acqua posto ad un' altezza equivalente alla tensione dell'aria, e messo in comunicazione coi recipienti nei quali allora varia il volume dell'aria, ma non della tensione, che è sempre mantenuta costante nell'afflusso come nel deflusso, perocchè, quando sovrabbonda l'aria, essa fa rifluire l'acqua dai recipienti nel serbatoio regolatore, e quando scarseggia le subentra l'acqua proveniente dal serbatoio stesso. Quest'idea, dovuta all'ingegnere Grattoni, potrà ricevere un' utile applicazione ogni qual volta si potrà collocare a grande altezza un vasto serbatoio. Una delle più utili, e delle più facili, la otterrà nel problema della locomozione coll'aria compressa sulle ferrovie alpine, problema, la cui soluzione è una necessità, e che si ha fondamento di credere prossima.

La locomozione esige un lavoro intermittente; la compressione dell'aria dovrà, e per ragioni di economia, e per ragioni tecniche, essere *continua*; la pressione dovrà essere costante; quindi la necessità di servirsi di vasti recipienti col sistema regolatore del nostro amico.

I serbatoi saranno di costruzione facilissima, prestandovisi a meraviglia le falde dei monti, e potranno essere costrutti a tale altezza, e con tale capacità, che corrisponda per la tensione e per il volume a tutti i bisogni della ferrovia la più frequentata. Abbiamo meditato lungamente sui diversi abbozzi di progetti, che furono messi innanzi da più di trent' anni sulla locomozione ad aria compressa; abbiamo trovato che i serbatoi regolatori della pressione sono destinati ad accelerare molto la realizzazione dell'idea della locomozione coll'aria compressa, rimasta sinora nella sfera delle cose possibili e desiderate, ma in favore della quale nissun fatto pratico può far prevedere quale sarà il sistema di macchine più conveniente, mentre per altra parte diversi fra i sistemi, periodicamente riprodotti da più di trent' anni, non hanno nemmeno bisogno di essere esperimentati per essere giudicati industrialmente impossibili.

2.°

COMPRESSORE A TROMBA.

(Tavola IV e IX).

La tavola IX dà una rappresentazione esatta di quella seconda foggia di compressore, e delle disposizioni adottate nel primo, che fu costrutto nel Belgio, e nei due altri che lavorano presentemente a Modane.

La tavola IV rappresenta un compressore dello stesso sistema, ma alquanto migliorato e modificato. Per la spiegazione ci riferiremo alla tavola IX.

Nel compressore a tromba l'acqua non agisce più direttamente sull'aria da comprimersi, ma su di un motore idraulico qualunque, il quale agisce sopra uno stantuffo che opera la compressione. Al motore idraulico si può sostituire un motore qualunque, come sarebbe una macchina a vapore, e così col compressore a tromba la compressione dell'aria può ottenersi in qualunque caso al pari d'ogni altro lavoro industriale.

E, è un cilindro orizzontale, nel quale muovesi uno stantuffo *D* connesso col motore mediante il braccio (bielle) *C*, e la manovella *B*.

Il cilindro *E* è congiunto con due colonne verticali *F*. *F*. Le colonne *F*, ed il cilindro *E*, contengono una massa d'acqua bipartita dallo stantuffo *D*, e che si muove con questo, abbassandosi in una colonna mentre s'innalza nell'altra, e viceversa, in modo tale, che il volume dello spazio non occupato dall'acqua è esattamente equivalente al volume sviluppato in una mezza corsa dello stantuffo. Nella figura IX il cilindro trovasi in fine della corsa, e sul punto di cominciare la retro-corsa, e così vedesi tutta la capacità della colonna *F* ripiena d'acqua. Muovendosi lo stantuffo per la corsa retrograda, l'acqua s'abbasserà nella colonna di sinistra, e s'innalzerà in quella di destra, sino a che lo stantuffo essendo pervenuto all'altra posizione estrema, questa sarassi riempiuta d'acqua, ed in quella si sarà abbassata l'acqua in modo da riprodurre simmetricamente lo stato di cose dimostrato nella figura.

Supponiamo ora la colonna di destra piena d'aria naturale, cui è chiusa l'uscita. Col progredire verso la destra dello stantuffo *D* l'acqua s'innalzerà nella colonna, ed innalzandosi comprimerà l'aria ivi contenuta, restringendone per gradi continui il volume. La pressione essendo cresciuta sino al punto, che si sarà stabilito, per esempio 6 atmosfere, essa solleverà una valvola *H*, comunicante con il recipiente *I*. *I*. *I*, di capacità qualunque, nel quale ha da raccogliersi l'aria compressa. Questa passerà intieramente nel recipiente, e la colonna sarà a sua volta piena d'acqua, come lo è nel disegno la colonna di sinistra. Giunto lo stantuffo al punto morto, la valvola *H* si chiuderà, e tutta l'aria, che fu compressa nella mezza corsa, sarà imprigionata nei recipienti. Vediamo ora cosa succede nella corsa inversa dello stantuffo, e perciò consideriamo la colonna *F* di sinistra. Muovendosi lo stantuffo verso destra, la colonna d'acqua *F* si abbassa, ed alla sommità di essa si produce un principio di vuoto; in quell'istante la valvola *G*, premuta dall'atmosfera, si apre, e l'aria naturale subentra nella colonna *F* all'acqua che si abbassa a seconda dell'avanzarsi dello stantuffo. Giunto questo al limite della sua corsa, la colonna *F* di sinistra sarà di nuovo nello stato in cui si vede quella di destra, cioè piena d'aria naturale, da comprimersi nel ritorno dello stantuffo. Riassumendo, si vede che lo stantuffo fa oscillare verticalmente ed alternativamente due colonne liquide, che nel moto oscillatorio aspirano,

comprimono, ed imprigionano nei recipienti un volume d'aria naturale, eguale al volume sviluppato dallo stantuffo nella sua corsa. Passiamo ora agli annessi.

La valvola di aspirazione *G* trovasi immersa nell' acqua contenuta in una vasca interna *R*; ciò mediante, nel principio e nel decorso della compressione l' aria non può più fuggire, anche con una valvola difettosa, l' acqua facendo ufficio di otturatore tutto all' ingiro della valvola; e se qualche perdita avrà luogo sarà una perdita d'acqua resa insensibile dall' incompressibilità del liquido, e dalla sua densità.

La valvola *H* per l' imprigionamento dell' aria compressa è del pari immersa in una massa d'acqua, che fa, come nell'altra, ufficio di otturatore.

Una condizione essenziale pel regolare funzionamento della macchina si è, che l'acqua sia sempre in quantità sufficiente; 1.° per riempiere tutto lo spazio nel quale si opera la compressione, essendo che con questo solo mezzo si è certi di raccogliere nei recipienti tutta l' aria che si comprime; 2.° per mantenere sempre sommerse le valvole *G. G. H. H.* — A questa condizione si soddisfa in modo semplicissimo. Una quantità d'acqua, piccola o grande, come si vuole, si fa affluire di continuo da una vasca esterna *O*, e si versa sopra le valvole *G. G.* Mentre si effettua la compressione una valvola *G* è chiusa, e l'acqua vi si accumula sopra; poi, cominciando l'aspirazione, quest'acqua passa coll'aria naturale nella vasca interna *R*, e di là nella colonna di compressione. Chiudendosi poi la *G* comincia la compressione, e la colonna *F* si è accresciuta di tutta la quantità d' acqua passata coll' aria naturale, e così ha acquistato un sovrappiù al suo volume normale, in modo che, quando avrà cacciata nei recipienti l' aria compressa attraverso la valvola *H*, questo sovrappiù passerà coll'aria nei recipienti *I. I. I*; mantenendo sempre piena la cavità nella quale si muove la *H*, ma continuando l' acqua otturatrice ad affluire in *R*, in *F*, e finalmente nei recipienti *I. I. I*, questi si riempirebbero del liquido, e non vi sarebbe più spazio per l'aria compressa. A tale inconveniente si è ovviato nel modo seguente:

L. L è un recipiente in comunicazione coi recipienti dell'aria *I. I. I; M* è un galleggiante concentrico, che si solleva e si abbassa traendo con sè una valvola *N*. L'acqua otturatrice proveniente dalla vasca esterna *O*, dopo compiuto il suo giro per *G. R. F* ed *H*, si raccoglie nel recipiente *L. L.* Quando è pervenuta ad una certa altezza, il galleggiante si solleva, aprendo la valvola *N*. Allora l'acqua contenuta in *L. L* esce pel tubo *P*, sotto la pressione dovuta all'aria compressa, ed è condotta dove si vuole. Nel disegno quest'acqua è riversata nella vasca *O*, dalla quale partirà nuovamente per compiere un altro giro simile a quello che abbiamo descritto. Si vede come una volta regolata la quantità d'acqua, che si vuol versare nella colonna di compressione, e regolate opportunamente le chiavi (*robinets* di distribuzione), altro non rimarrà da farsi che rinnovare di tempo in tempo l'acqua della vasca *O*, per compensare le perdite, e specialmente la perdita dovuta alla evaporizzazione che risulta dal calore sviluppato nella compressione dell'aria.

3.°

PERFORATRICE:

(*Tavole V e X*).

La perforatrice è destinata a scavare fori da mina, applicandovi come forza motrice l'aria compressa, od il vapore, secondo che torna più conveniente.

Nel comporre una tal macchina si ebbe in mira di ottenere una gran rapidità di perforazione: ma questo scopo principale non poteva essere raggiunto senza che i problemi speciali, dai quali dipendeva, ricevessero allo stesso tempo una soluzione soddisfacente. I requisiti erano i seguenti:

1.° Una forza di percossione tale da scavare i fori con la desiderata rapidità, guadagnando colla frequenza dei colpi tutto quello che si doveva perdere nell'energia di essi per non oltrepassare quel limite di elasticità, oltre il quale le sbarre non avrebbero resistito sufficientemente all'effetto degli urti.

2.° La macchina doveva essere automatica, cioè tutti i movimenti richiesti pel lavoro da eseguirsi dovevano compiersi e regolarsi senza il concorso dell' operaio. Questi movimenti erano: il movimento di percossione, il movimento di rotazione dello scarpello, il movimento di avanzamento e di regresso.

3.° Il volume, il peso, e la forma dovevano essere tali, che la macchina riescisse d'un maneggio agevole.

4.° Finalmente si doveva provvedere acciò che i guasti e le riparazioni non avessero da essere troppo frequenti.

Il risultato degli studi ai quali diede luogo il problema, e delle prove fatte colla macchina di esperimento, fu il perforatore, quale si vede nelle *tavole V* e *IX*; quest' ultima ci servirà per dare la spiegazione particolareggiata dell'istrumento.

Il perforatore si compone di due parti distinte: la prima fissa, e la seconda mobile.

La parte fissa comprende il cilindro *A*, con tutti gli annessi, e le due guide (*longerons*) *K. K.*

La parte mobile comprende lo stantuffo percussore *F. F* col cilindro *G. G*, e con gli altri annessi.

Il cilindro percussore è mobile fra mezzo alle guide: queste sono vitate internamente, ed il cilindro connesso colla vite motrice *N. N* avanza, indietreggia, o sta fermo, secondo che questa è mossa in un senso o nell'altro; il cilindro percussore può in questo modo percorrere una lunghezza di 80 centimetri, corrispondente alla profondità usuale di un foro da mina.

Il cilindro fisso *A*, che diremo cilindro motore, è quello che dà il moto a tutte le parti della macchina all'infuori del moto di percossione.

Esso comanda l' asse *B*; questo asse *B* per mezzo di due dentale coniche *C. C* governa l' albero motore quadrato *D. D.* Lungo l' albero *D. D* scorre un eccentrico (*came*) *E*, unito con un puntone *L*, mosso anch'esso da un eccentrico collegato con *E*.

L' eccentrico *E*, ed il puntone *L*, sono connessi col cilindro percussore *G. G*, e lo accompagnano in tutti i suoi movimenti, conservando sempre la stessa posizione geometrica rispettiva. L'albero *D. D* essendo quadrato, imprime all'eccentrico *E*, mentre questo scorre lungh'esso, un moto rotatorio; così anche per l'eccentrico che governa il puntone L. Vedremo più oltre quale sia l'ufficio di questi due organi.

Percossione. — Nel cilindro *G. G* si muove lo stantuffo *F. F*, sul quale è infisso lo scarpello *I. I.* Lo stantuffo *F. F* è di continuo premuto sulla faccia anteriore dall' aria compressa che riempie sempre lo spazio α. α. α., che si dice *chapelle* nella macchina a vapore. La faccia posteriore di *F. F* è quella sulla quale l' aria compressa agisce per produrre la percossione. La figura mostra lo stantuffo al principio d'una oscillazione. L' aria compressa irrompendo per la luce a sulla faccia posteriore, spingerà innanzi lo stantuffo *F. F* sino a che la punta dello scarpello *I. I* incontri la roccia. In questo movimento lo stantuffo è spinto avanti con una forza eguale alla sezione del vano del cilindro, moltiplicata per la pressione dell'aria motrice, e respinto da un' altra forza eguale alla superficie anullare della faccia anteriore moltiplicata per la medesima pressione dell' aria. La differenza tra queste due forze d'impulso e di repulso è la vera misura della forza che produce la percossione.

Supponiamo che la corsa normale di *F. F* sia compresa tra il fondo del cilindro e la linea β. β; quando lo scarpello *I. I* darà il colpo sulla roccia, avremmo la testa dello stantuffo in β. β, e tutto lo spazio a destra di β. β sarà pieno dell'aria motrice venuta dalla cappella α. α. α. attraverso la luce a, ed ove non si provvedesse per la continuazione del moto, lo stantuffo starebbe fermo, premuto a destra dall'aria compressa, ed a sinistra dalla roccia stessa. Ma supponendo che appena lo scarpello abbia battuto il colpo, la luce a si chiuda, e si apra in vece la luce *b*, che comunica coll'atmosfera, avverrà che l'aria motrice fuggirà immediatamente, e la faccia posteriore dello stantuffo non sarà più premuta che dall' atmosfera. L'aria compressa della cappella α. α. α., premendo sempre sulla faccia anullare anteriore dello stantuffo, diverrà predominante, e lo stantuffo *F. F* assieme allo scarpello *I. I* ritornerà indietro nella posizione primitiva, e sarà pronto a dare un altro colpo. L'eccentrico *E* serve appositamente alla distribuzione dell'aria motrice nel cilindro *G. G*, comunicando alla cassetta *H* il movimento alternativo rettilineo, mercè il quale le luci a e *b* sono successivamente aperte e chiuse.

Rotazione dello scarpello. — Dopo ciascun colpo lo scarpello gira sul suo asse di una frazione di circonferenza eguale ad 1/18. Questa rotazione si procura nel modo seguente: il puntone *L* ad ogni rivoluzione dell'albero *D. D*, che corrisponde ad un colpo intiero, fa girare di un passo, o di un dente, la ruota dentata *M. M*; questa

è infissa sopra una spranga quadrata *Q. Q*, che penetra nell'interno della stantuffo *F. F*, in una cavità di sezione parimenti quadrata ; ne conseguita che il puntone *L* spingendo per 1/18 di circonferenza le dentate *M. M*, questa farà fare 1/18 di giro alla spranga ed allo stantuffo.

Avanzamento. — Mentre sta ferma la vite *N. N* lo scapello lavora, il foro si fa più profondo, e la corsa dello stantuffo *F. F* si fa più lunga d' altrettanto, e rimanendo le cose in questo stato verrebbe il momento in cui la corsa di *F. F* non sarebbe più bastante al bisogno, e lo scarpello, invece di battere sulla roccia, batterebbe lo stantuffo sul coperchio anteriore del cilindro. Egli è dunque cosa necessaria che tutto l'apparecchio percussore si faccia innanzi a misura che va sprofondandosi il foro.

Tra i diversi modi con cui si poteva ottenere quell'avanzamento si è scelto il seguente, che dà un avanzamento non continuo, ma periodico.

M'. M' è una ruota a guscio, dentata sul fianco, che fa fronte alla vite *N. N*: essa può scorrere liberamente sulla spranga *Q. Q* a destra ed a sinistra per uno spazio eguale almeno alla profondità delle cavità che si vedono nella vite motrice, e nelle quali s'intromettono i denti della *M'. M'* ; essa è mossa dallo stesso puntone *L* che dà il moto alla *M. M* nello stesso tempo. Nel guscio della *M'. M'* è collocata una staffa connessa con una spranga *R. R. R* ; questa spranga, verso l'estremità di sinistra, si divide in due rami a foggia di forca, i quali, ripiegati all'insù, vanno a mettere nei denti che si vedono sulla faccia inferiore delle guide *K. K.* Un terzo ramo *S* continuando più oltre, fa parte integrale della spranga *R. R*, di cui non è che il prolungamento ; una molla *U* spinge la forca *R* contro i denti d'arresto.

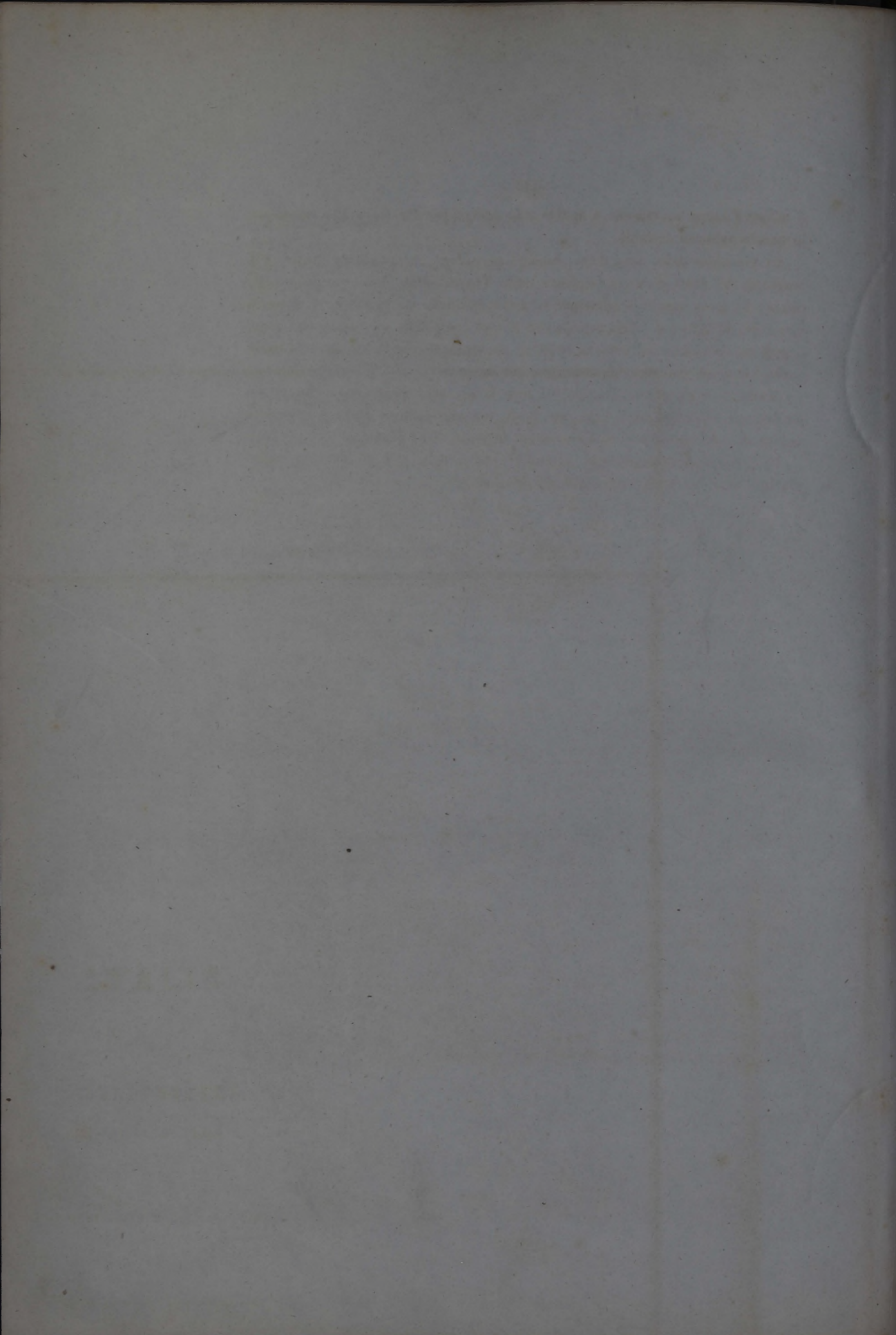
P. P è una molla che tende continuamente a spingere la dentata *M. M* contro la vite motrice *N. N*, ma che viene contrastata dalla forca d'arresto *R. R. R.* Supponiamo ora che il foro siasi approfondito di una quantità tale che il tallone *T* (*taquet*) possa urtare il ramo mediano *S* della forca *R*; l'urto avrà per effetto di far scattare dal dente d'arresto la punta della forca; allora la molla *P. P* non essendo più contrastata dall'arresto in *R*, spingerà *M'. M'*, e questa addenterà la vite motrice *N. N* e la trascinerà con sè nel moto rotatorio impartitole dal puntone *L* per mezzo dell'altra dentata *M. M.* La vite motrice farà anch' essa un 1/18 di giro ad ogni colpo, e farà così avanzare tutto il sistema proporzionalmente alla lunghezza del passo adottato pel verme della vite e delle guide. Dopo un certo numero di giri la punta della forca *R* incontrando un altro dente d'arresto, la forca e la spranga *R. R. R* staranno ferme, ed il cilindro percussore progredirà ancora di quanto sarà necessario per far uscire i denti di *M'. M'* dalla cavità della vite *N. N.* Allora questa sarà di nuovo ferma. La corsa dello stantuffo percussore sarassi raccorciata della distanza tra un dente d'arresto e l'altro (diminuita della profondità del foro scavato mentre la macchina percorse questa distanza), e lavorerà ad approfondire il foro sino a che

il tallone T venga nuovamente a battere sulla punta S per dar luogo alla ripetizione di quanto abbiamo descritto.

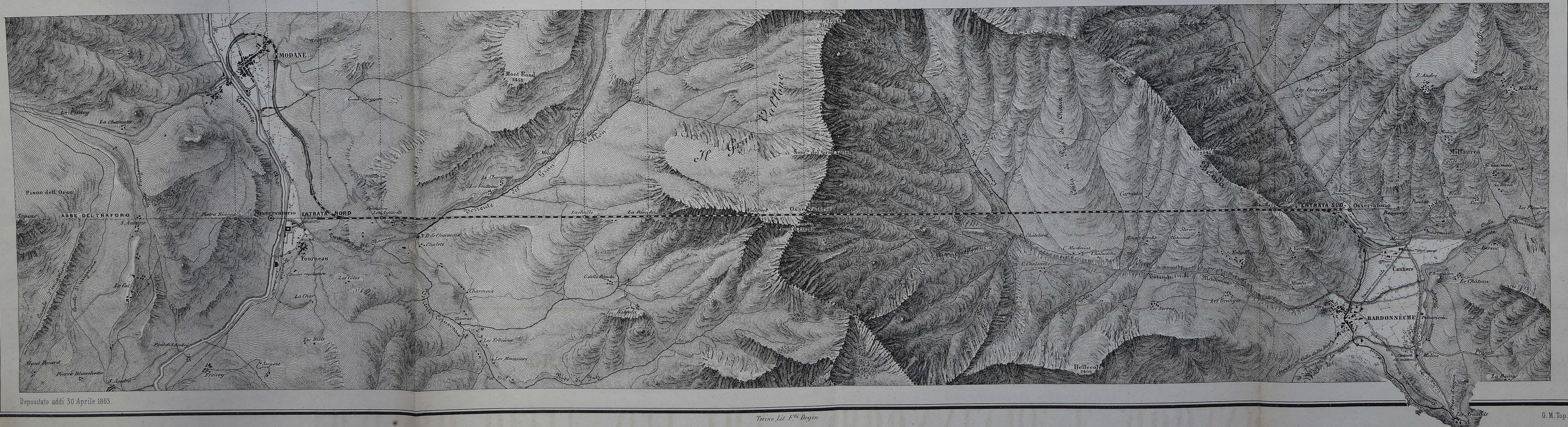
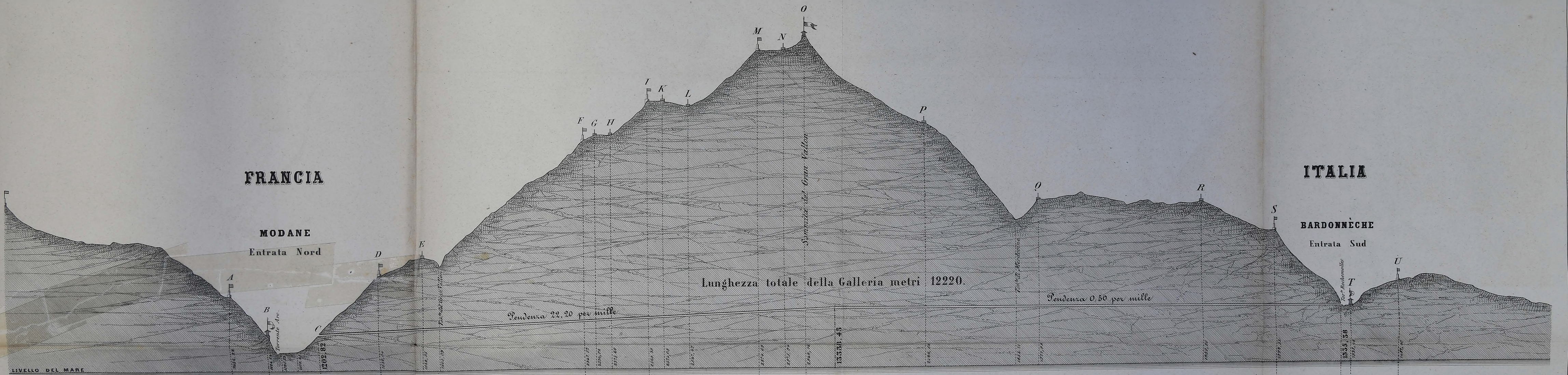
La variazione della corsa dello stantuffo percussore è esattamente eguale alla lunghezza dei denti d'arresto (supposto nullo l'approfondire dello scarpello nella roccia). La corsa iniziale si determina: 1.° dall'indole della macchina che è in più o men lodevole stato ; 2.° dalla rapidità che si vuol avere nella successione dei colpi, i quali possono essere nell'unità di tempo o più frequenti con minor corsa, e minor impeto, o meno numerosi, ma con corsa più lunga ed impulso più gagliardo.

Movimento retrogrado. — Terminato il foro, la macchina si fa rinculare, invertendo da destra a sinistra il moto della vite $N. N$, e senza invertire quello del cilindro motore A; tale manovra si fa normalmente in meno di un minuto.

Le perforatrici attualmente in servizio al traforo delle alpi pesano 200 chilogrammi; altre, più forti, sino a 300 chilogrammi.

G. SOMMEILLER.

TRAFORO DELLE ALPI TRA BARDONNÈCHE E MODANE

PROFILO LONGITUDINALE E PIANO GENERALE

Scala di 1 a 25.000 per le Lunghezze, e di 1 a 12.500 per le Altezze.

TRAFORO DELLE ALPI — COMPRESSORI A COLONNA D'ACQUA — ENTRATA SUD

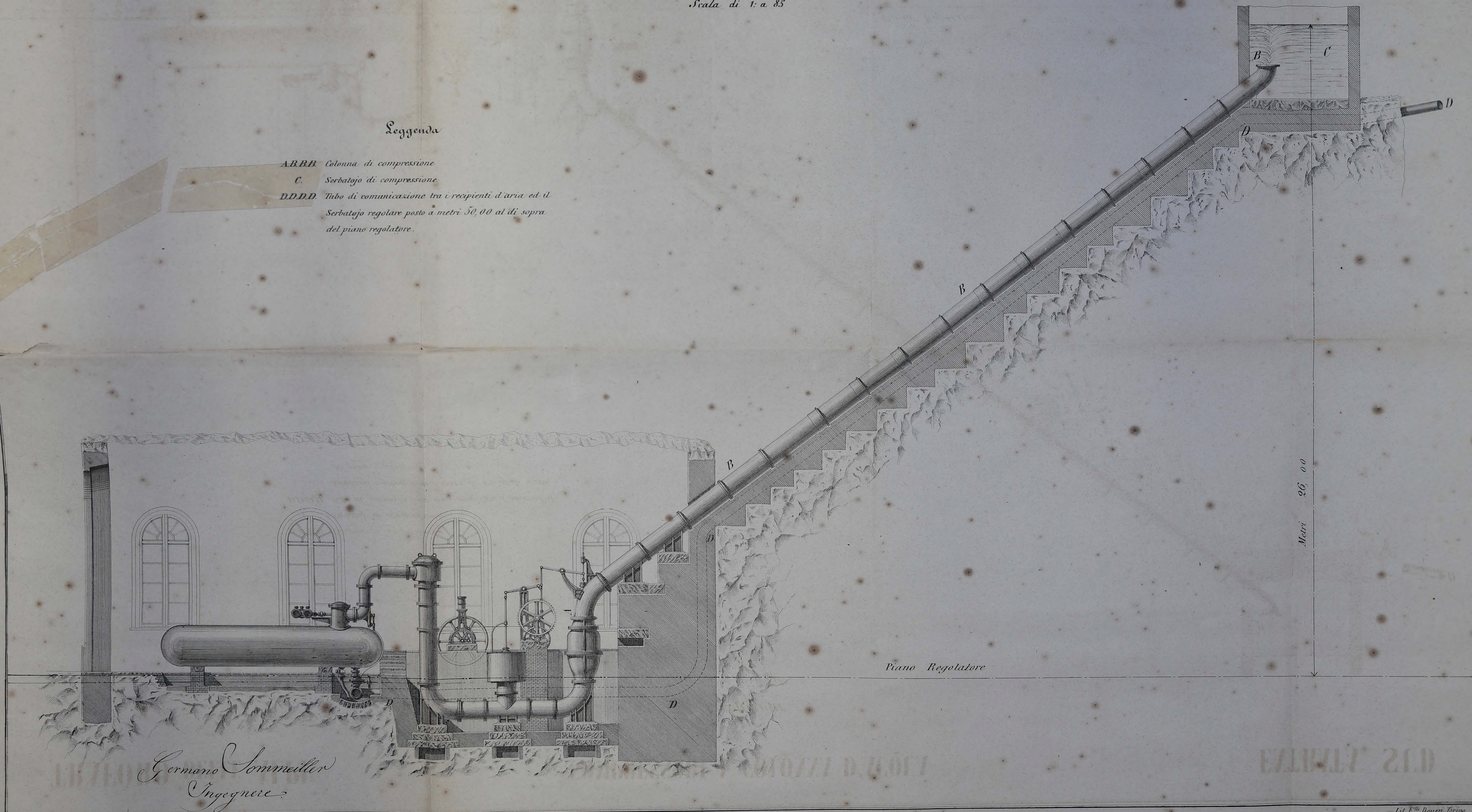
Elevazione

Scala di 1: a 85

Leggenda

A.B.B.B. Colonna di compressione

C. Serbatojo di compressione

D.D.D.D. Tubo di comunicazione tra i recipienti d'aria ed il Serbatojo regolare posto a metri 50, 00 al di sopra del piano regolatore.

Germano Sommeiller
Ingegnere

J. Heinemann. Lit.

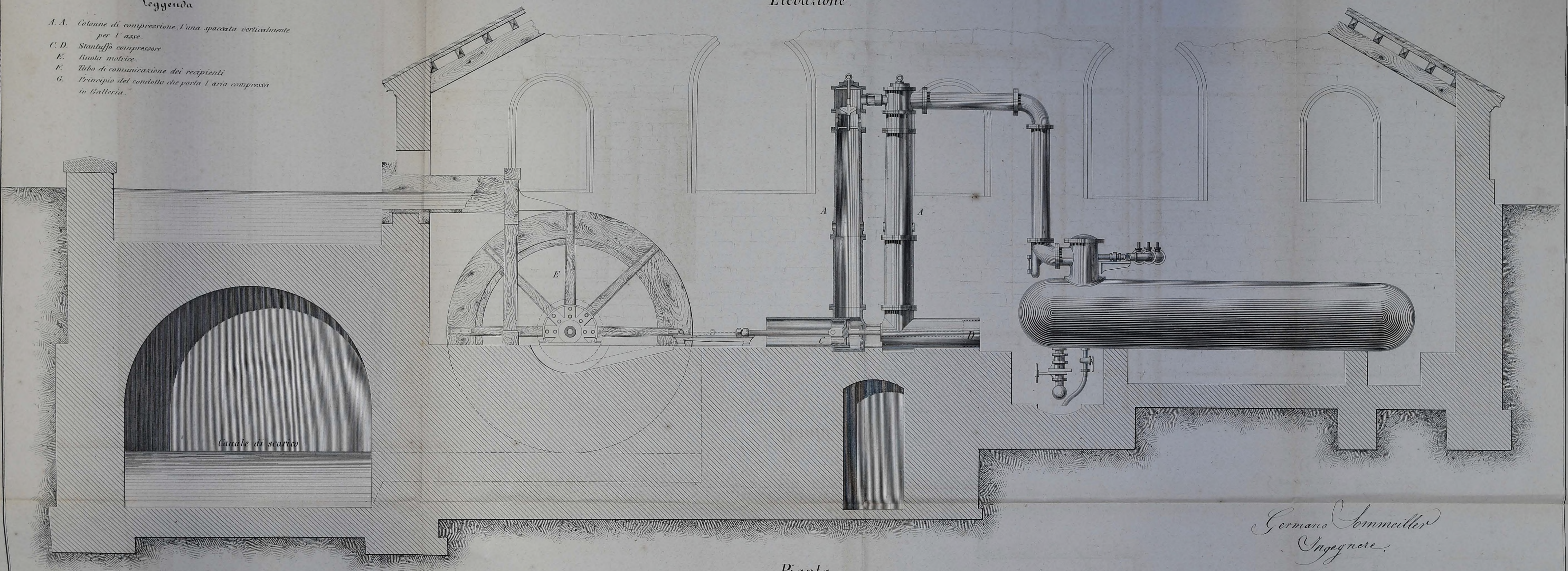
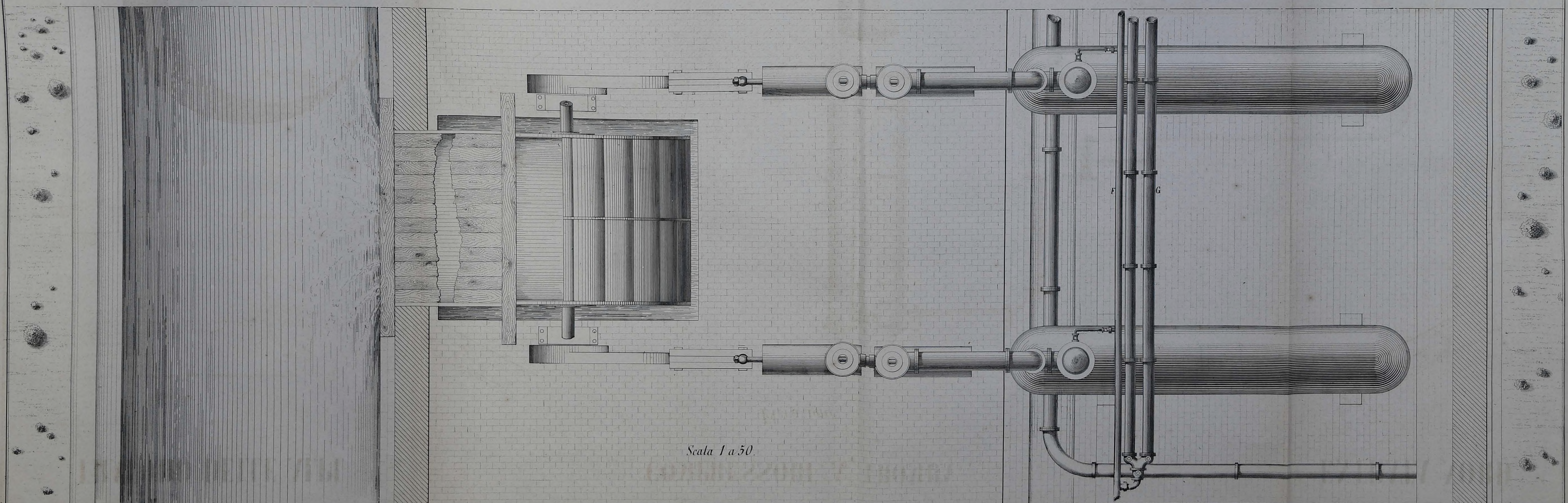
Depositato addì 30 Aprile 1863.

Lit. F.lli Doyen Torino

TRAFORO DELLE ALPI TRA BARDONNECHE E MODANE

Depositato addì 30 Aprile 1863.

Torino, Lit. F.lli Doyen.

TAV. IV.
TRAFORO DELLE ALPI
COMPRESSORI A TROMBA
ENTRATA NORD
Leggenda
A. A. Colonne di compressione, l'una spaccata verticalmente per l'asse.
C. D. Stantuffo compressore
E. Ruota motrice.
F. Tubo di comunicazione dei recipienti
G. Principio del condotto che porta l'aria compressa in Galleria.
Elevazione
A
A
E
C
D
Canale di scarico
Germano Sommeiller
Ingegnere
Pianta
F
G
Scala 1 a 50.
J. Heinemann Lit.
Depositato addì 30 Aprile 1863.
Lit. F.lli Doyen Torino

TRAFORO DELLE ALPI TRA BARDONNECHE E MODANE

Perforatore

Leggenda

A. *Cilindro motore fisso*
B. *Volante*
C. *Cilindro percorsore*
D. *Stantuffo del medesimo*
E. *Condotta dell'aria motrice compressa*
F F. *Apparecchio automatico per regolare l'avanzamento*

Sezione longitudinale.

B

A

C

D

F

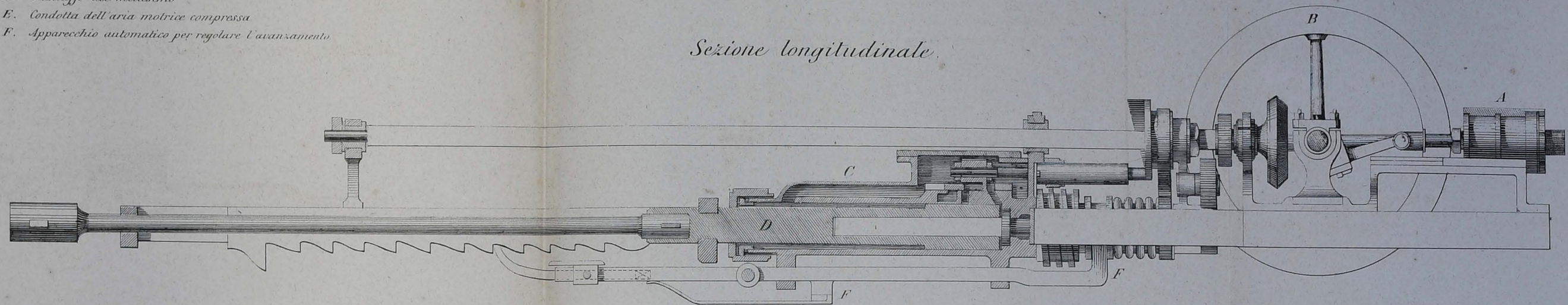
F

Pianta

B

C

A

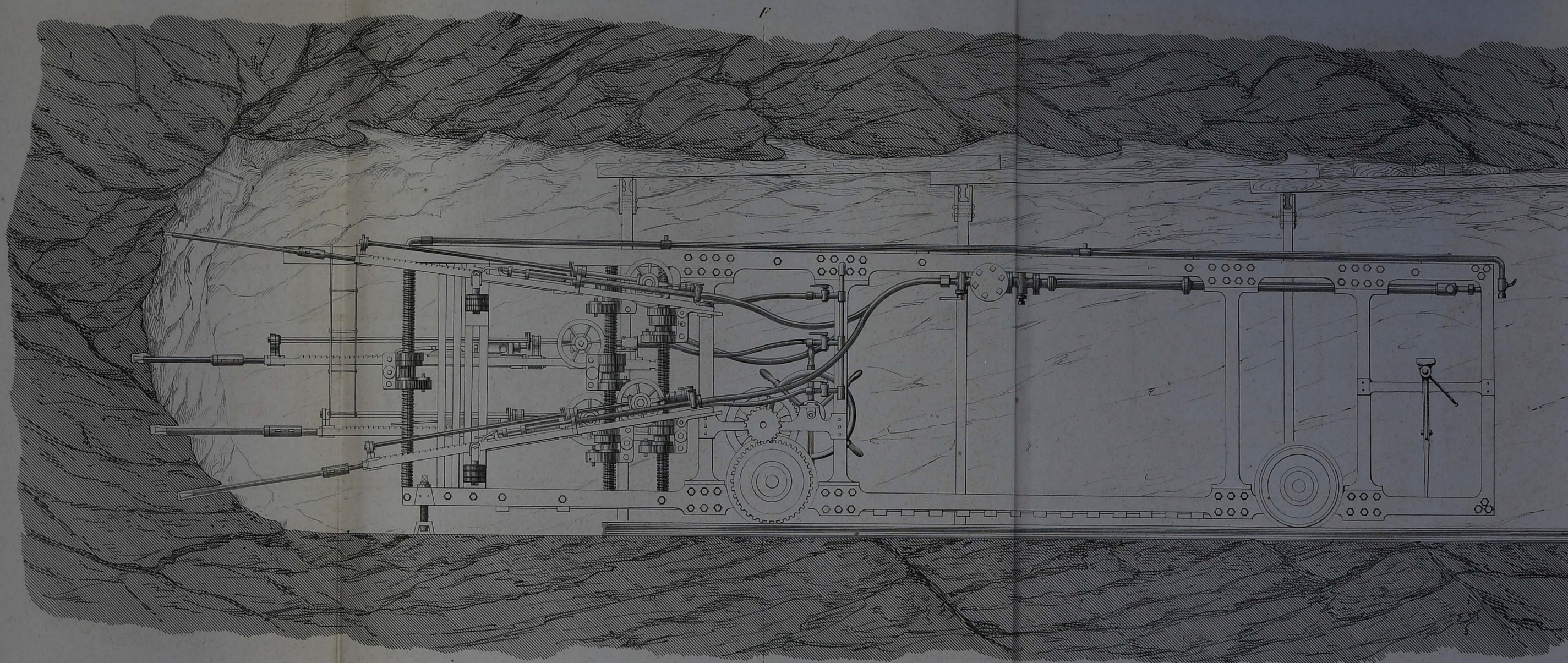
E

Scala di 1 a 5.

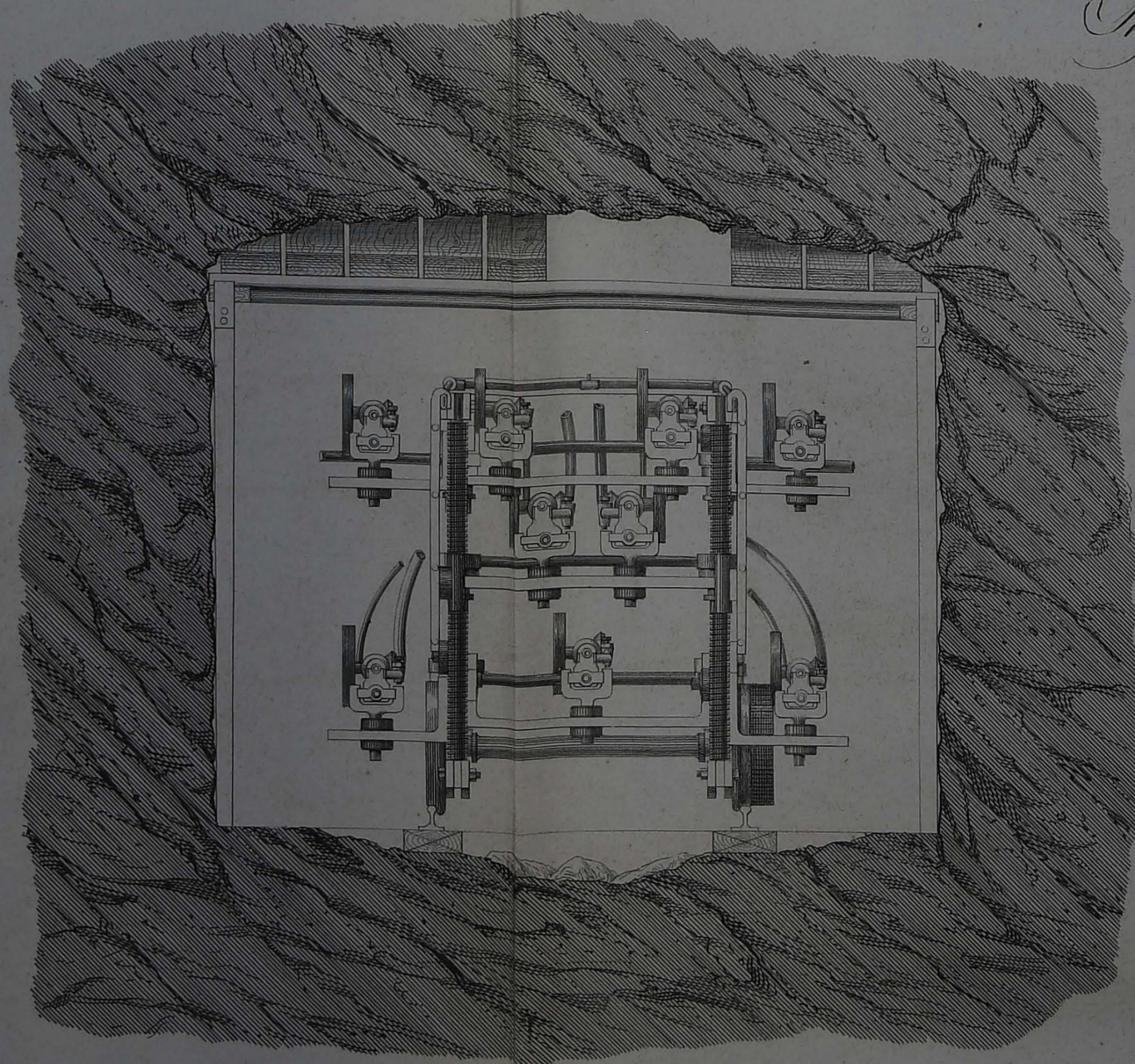
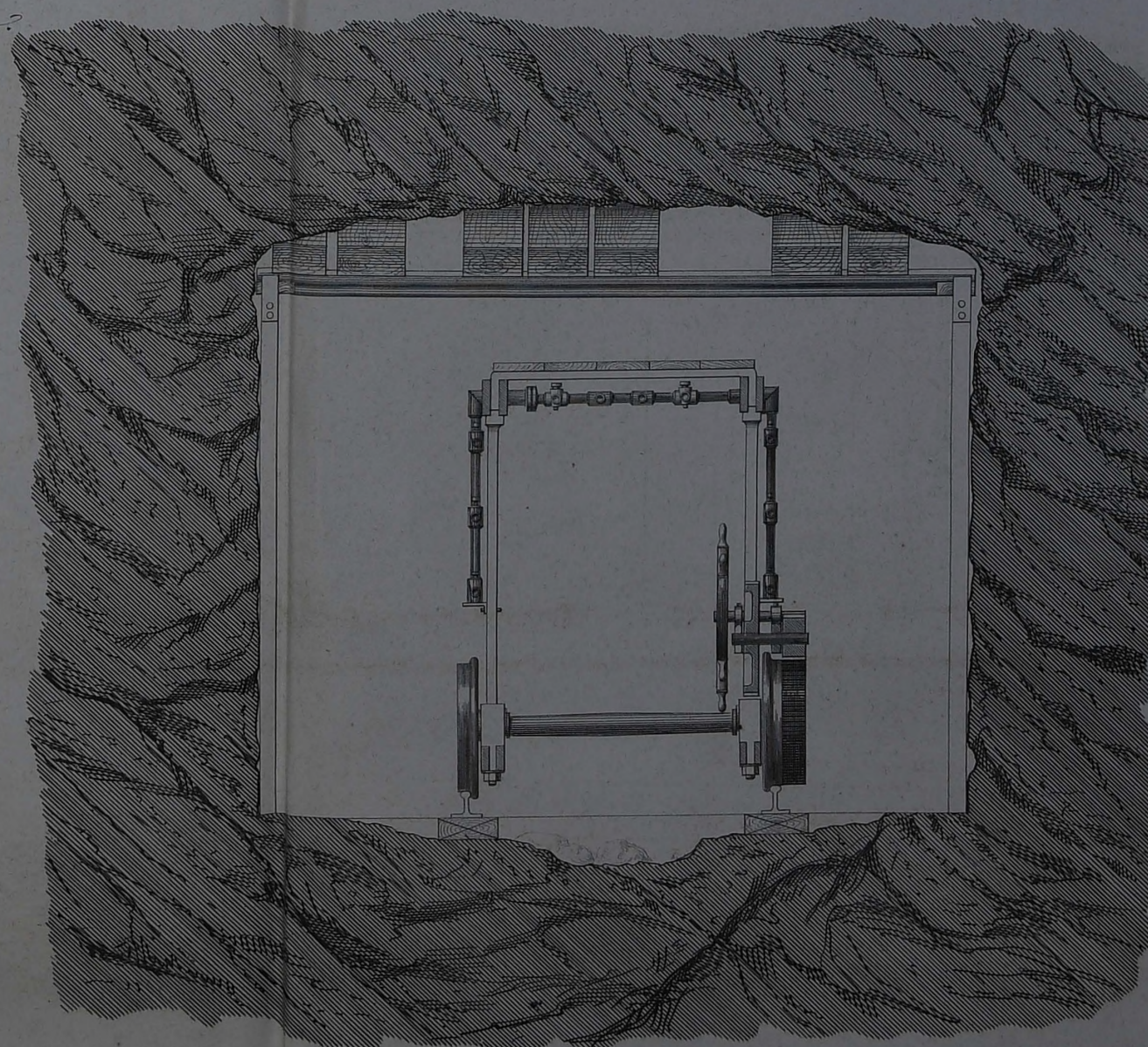
Germano Sommeiller Ingre

Torino Lit. Frat. Doyen.

Depositato addì 30 Aprile 1863.

TRAFORO DELLE ALPI TRA BARDONNÈCHE E MÔDANE

AFFUSTO DELLE MACCHINE PERFORATRICI

Affusto visto di Fianco

Germano Sommeiller
Ingegnere

Scala di 1:25

Affusto visto di Fronte

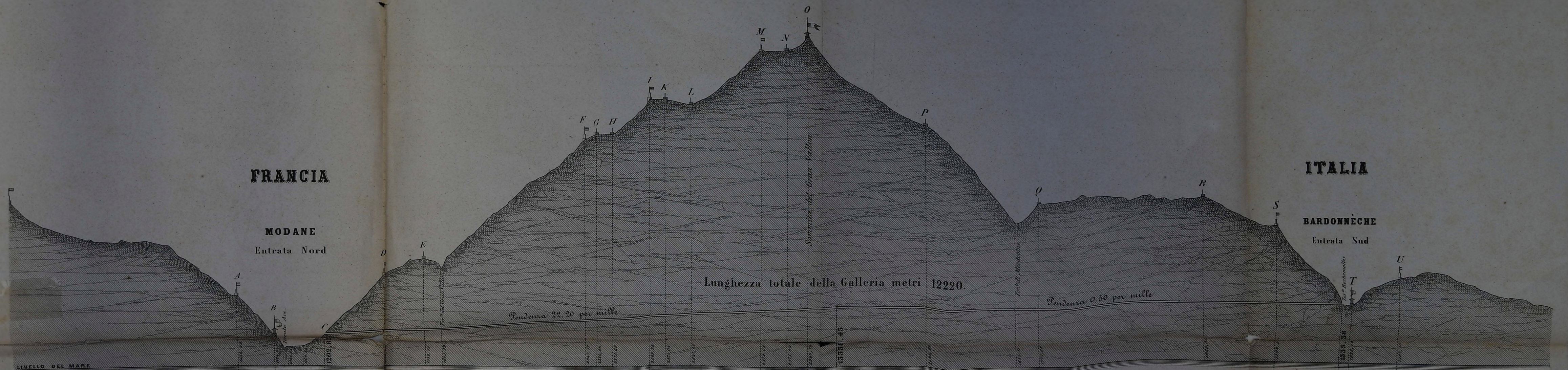
Sezione E.F.

Torino Lit. F.lli Doyen

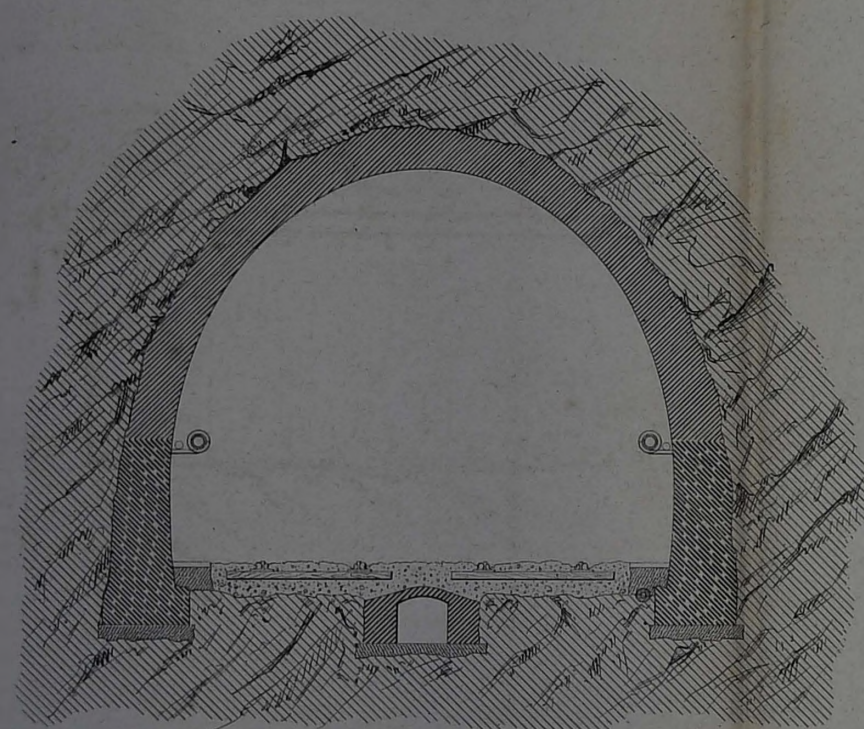
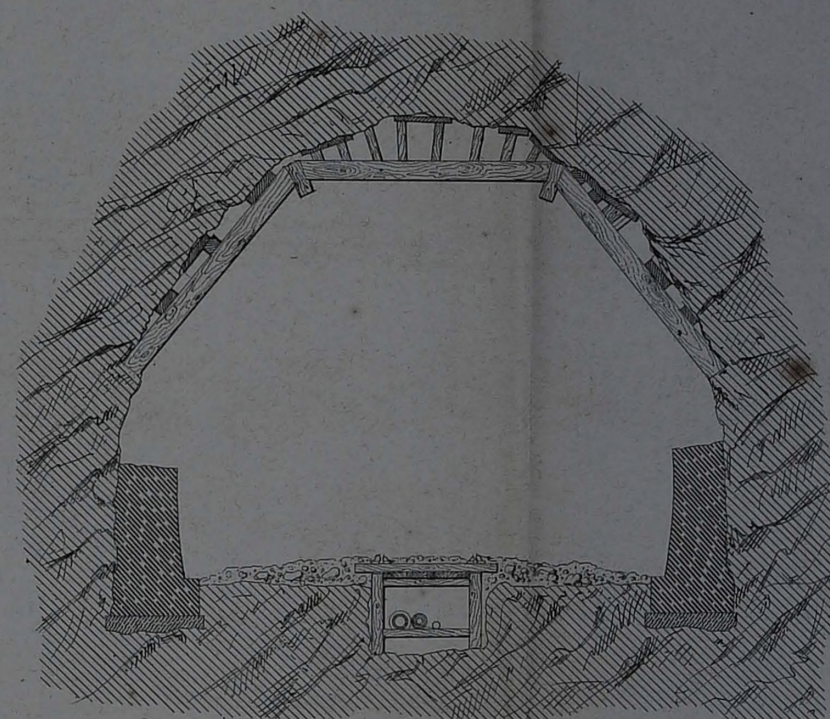
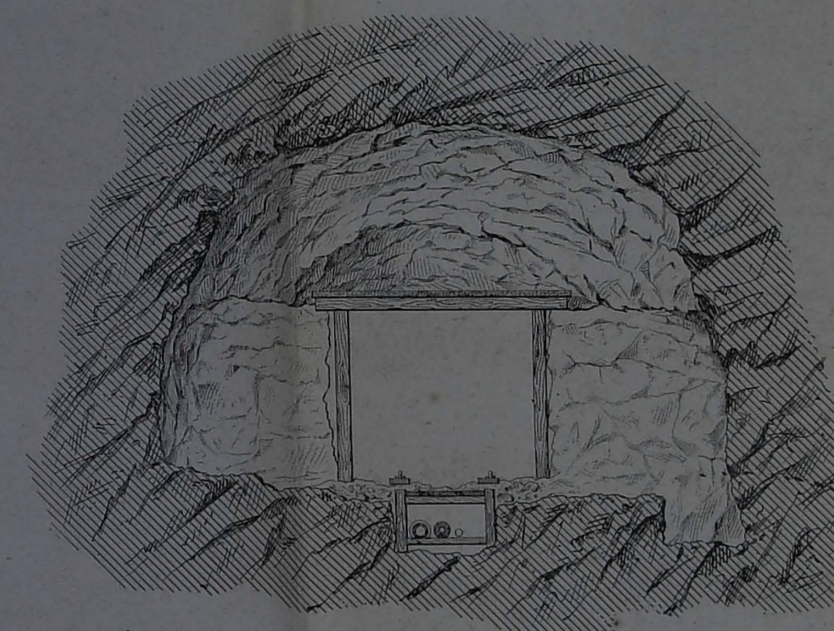
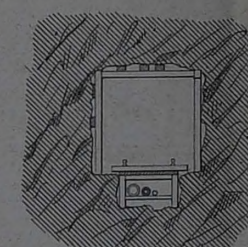
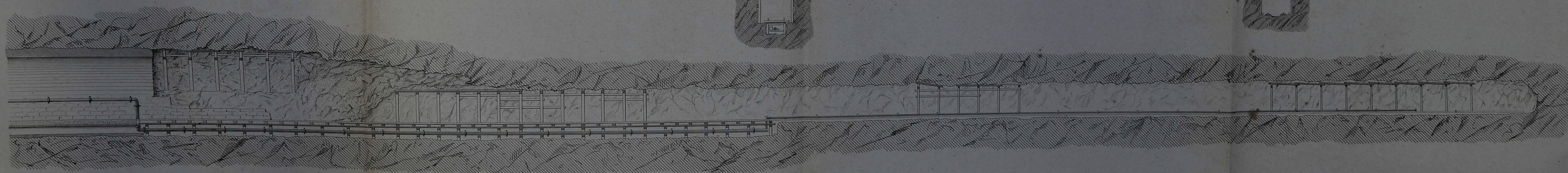
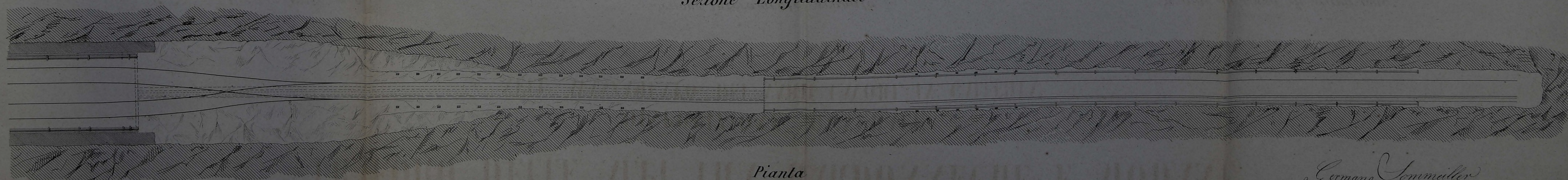
Depositato addì 30 Aprile 1863

TRAFORO DELLE ALPI TRA BARDONNÈCHE E MODANE

PROFILO LONGITUDINALE E PIANO GENERALE

Scala di 1 a 25.000 per le Lunghezze e di 1 a 12.500 per le Altezze

TRAFORO DELLE ALPI TRA BARDONNÈCHE E MODANE

DISPOSIZIONE GENERALE
NELL' AVANZAMENTO DEI VARII LAVORI IN GALLERIA

Sezione ad opera finita

Sezione interamente scavata
Scala 1.100

Sezione in corso di scavazione

Sezione dell' avanzamento col canale di scolo

Sezione dell' avanzamento

Sezione Longitudinale

Pianta
Scala 1.200

Germano Sommeiller
Ingegnere

Depositato addì 30 Aprile 1863

Lit. F.lli Doyen Torino

Depositato addì 30 Aprile 1863.
Lito. F.lli Doyen, in Torino.

COMPRESSORE A TROMBA

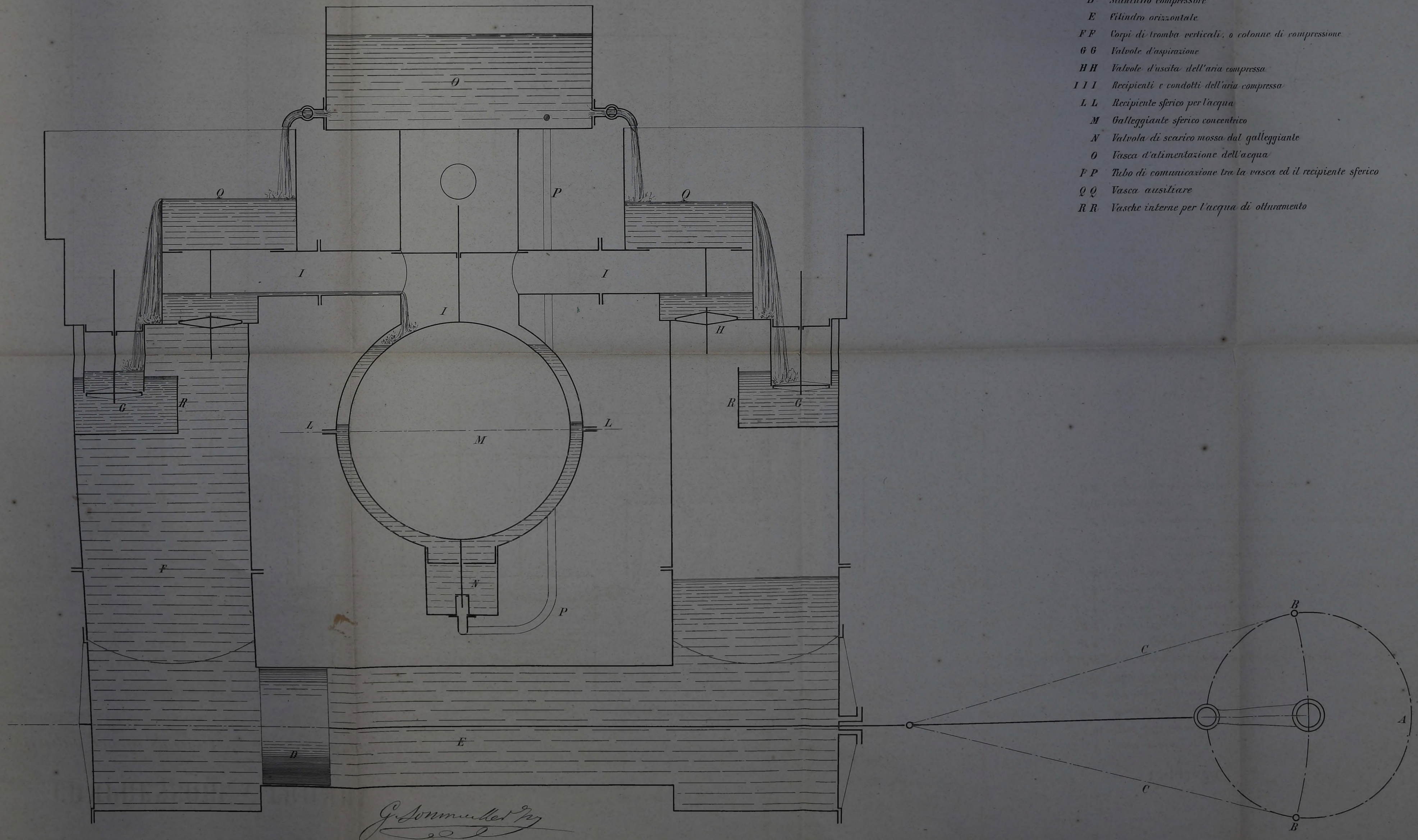
Disegno per la spiegazione del funzionamento.

Leggenda

A	Ruota motrice
B B	Perno della manovella
C C	Braccio della manovella
D	Stantuffo compressore
E	Cilindro orizzontale
F F	Corpi di tromba verticali, o colonne di compressione
G G	Valvole d'aspirazione
H H	Valvole d'uscita dell'aria compressa
I I I	Recipienti e condotti dell'aria compressa
L L	Recipiente sferico per l'acqua
M	Galleggiante sferico concentrico
N	Valvola di scarico mossa dal galleggiante
O	Vasca d'alimentazione dell'acqua
P P	Tubo di comunicazione tra la vasca ed il recipiente sferico
Q Q	Vasca ausiliare
R R	Vasche interne per l'acqua di otturamento

G. Sommeiller Ing.

Depositato addì 30 Aprile 1863.

Lito. F.lli Doyen in Torino.

PERFORATRICE

Disegno per la spiegazione del funzionamento.

Leggenda

- *A.* Cilindro motore.
- *B.* Asse motore.
- *C C.* Ruote d'ingranaggio ad angolo retto.
- *D D.* Albero motore ed a Sezione quadrata normale all'asse B.
- *E.* Eccentrico regolatore della distribuzione (Came).
- *F F.* Stantuffo percussore.
- *G G.* Cilindro percussore.
- *H.* Cassetta di distribuzione.
- *I I.* Scalpello.
- *K K.* Guide o lungherine formanti l'intelajatura della macchina.
- *L.* Eccentrico a Cliquet per l'avanzamento di tutto il sistema percussore e pel giro dello scalpello.
- *M M.* Rocchetto infisso sull'asse Q Q. al quale comunica movim.to
- *M' M'.* Ruota d'Ambrayage che gira coll'asse Q Q.
- *N N.* Cilindro filettato che ingrana nelle scanellature delle guide e che gira solo quando è unito alla ruota M' M'.
- *O O.* Cilindro sul quale s'avvolge P P.
- *P P.* Molla a spirale che tende a mantenere riuniti M' M'. ed N N.
- *Q Q* Asse a Sezione quadrata che penetrando nell'interno dello stantuffo percussore gli comunica il movimento di rotazione.
- *R R R.* Spranga d'arresto.
- *S.* Appendice alla spranga d'arresto.
- *T.* Taquet che percuotendo sull'appendice S toglie l'arresto.
- *U.* Molla per mantenere aderente la spranga d'arresto contro i denti delle guide.
- *V.* Volante.
- *a.* Luce d'ammissione.
- *b b.* Luci di scarico.
- *α α α* Spazio continuamente ripieno d'aria compressa.
- *β β.* Linea indicante la corsa utile dello stantuffo.

Lit. F.lli Doyen, Torino